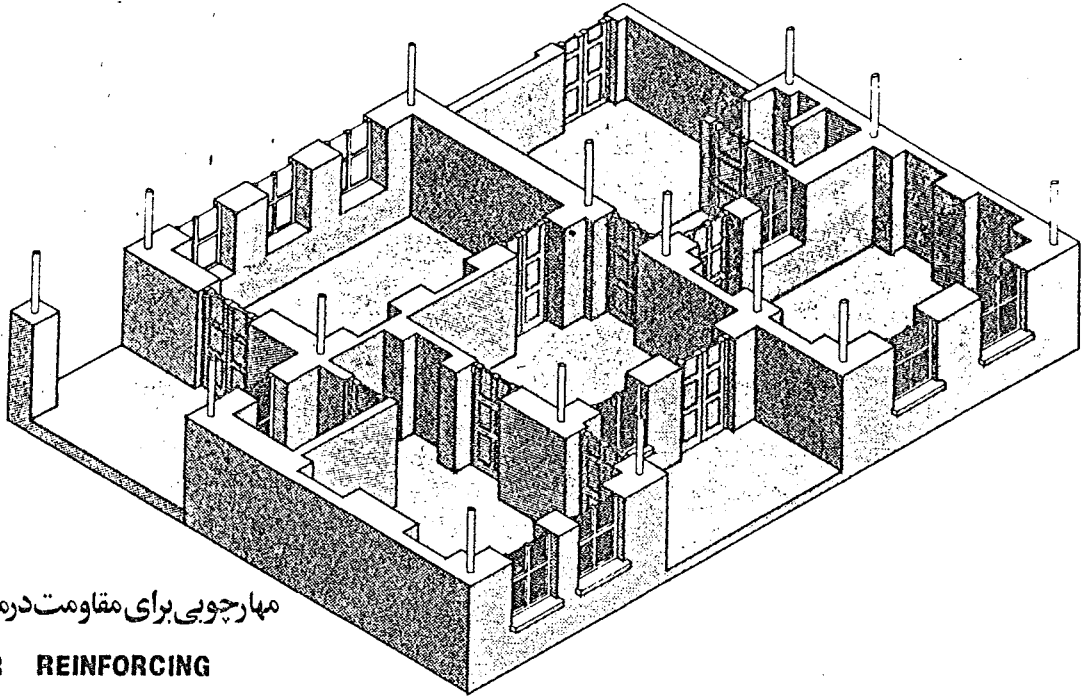


**A STRATEGY FOR DEVELOPING  
INDIGENOUS BUILDING  
IN EARTHQUAKE REGIONS**



مهار چوبی برای مقاومت در مقابل زلزله

**TIMBER REINFORCING  
FOR EARTHQUAKE RESISTANCE**

**CASE STUDIES OF THE  
BANDAR ABBAS (1977) AND THE ZARAND  
(1978) EARTHQUAKES**

**Development Workshop**

These case studies are based on a working paper prepared on behalf of the Centre for Endogenous Development Studies, Teheran.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopy, recording, or any storage or retrieval system without the prior permission in writing from the authors.

© Farokh Afshar, Allan Cain, Mahammad-Reza Daraie, John Norton, Development Workshop.

A STRATEGY FOR DEVELOPING  
INDIGENOUS BUILDING IN  
EARTHQUAKE REGIONS

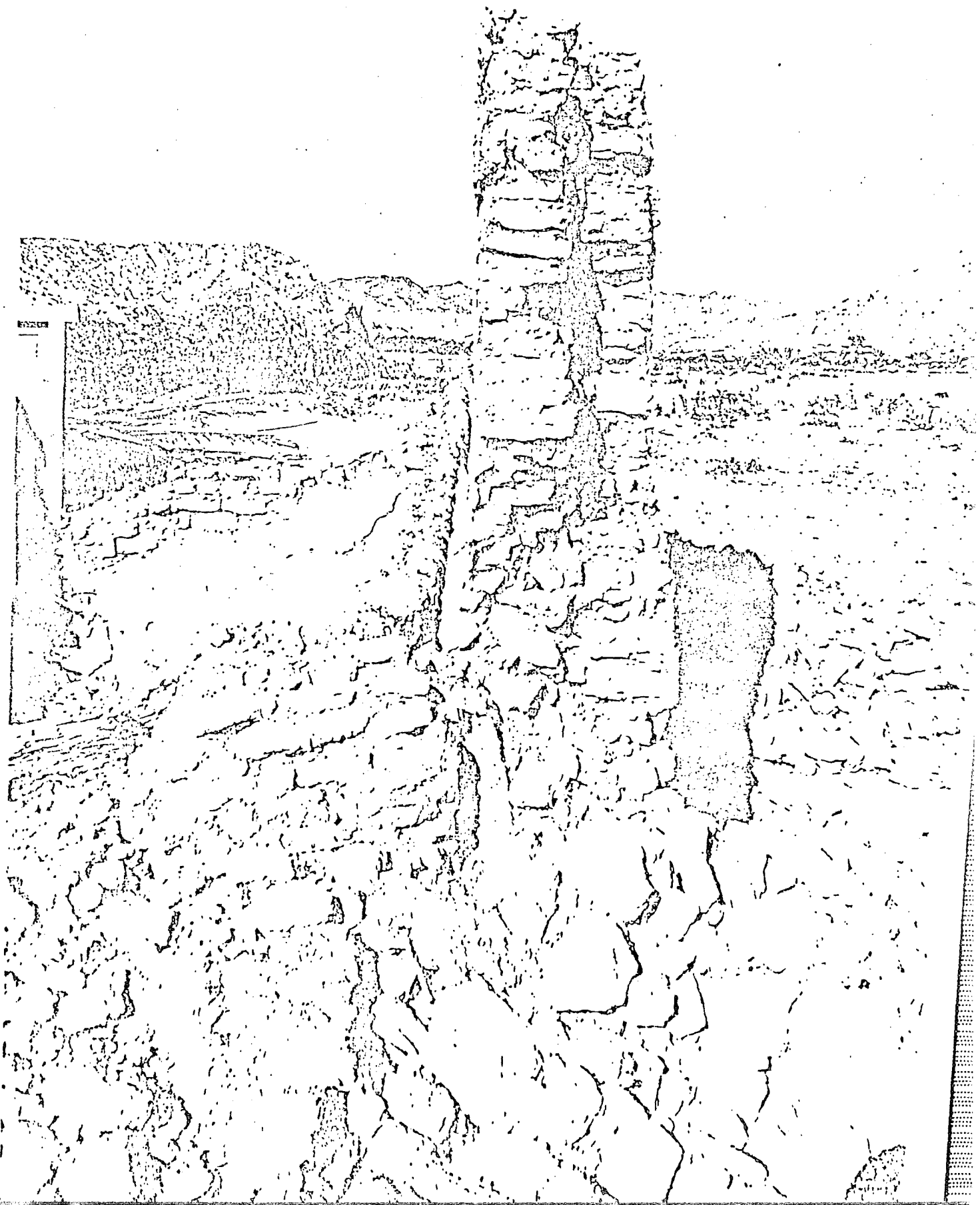
CASE STUDIES OF THE BANDAR ABBAS 1977 EARTHQUAKE  
AND THE ZARAND 1978 EARTHQUAKE

BY  
DEVELOPMENT WORKSHOP

Farokh Afshar, Allan Cain, Mohammad-Reza Daraie, John Norton

Indigenous Building  
in  
EARTHQUAKE REGIONS

مناهای بومی در  
مناطق زلزله خیز



Centre for Endogenous Development Studies

WORKING PAPER

A STRATEGY FOR DEVELOPING  
INDIGENOUS BUILDING IN  
EARTHQUAKE REGIONS

CASE STUDIES OF THE BANDAR ABBAS 1977 EARTHQUAKE  
AND THE ZARAND 1978 EARTHQUAKE

BY  
DEVELOPMENT WORKSHOP

Farokh Afshar, Allan Cain, Mohammad-Reza Daraie, John Norton

## CONTENTS

- 1.0 Introduction.
  - 2.0 Survey of Earthquake Areas.
    - 2.1 Bandar Abbas Earthquake.
    - 2.2 Zarand Earthquake.
  - 3.0 Builders' Training Workshop.
  - 4.0 Conclusion.
- Bibliography.
- Photographs and Illustrations.

## 1.0 INTRODUCTION

This report discusses indigenous village building methods in earthquake regions. It proposes a methodology for the upgrading of village building - to better withstand earthquakes - involving local people themselves and materials and technologies which remain in their hands. The report is prepared in light of surveys carried out in the areas of the Bandar Abbas earthquake in March 1977 and the Zarand earthquake of December 1977.

The conventional approach to earthquake construction has two common features: developing earthquake resistant structures in technical institutions, and introducing these structures into a region usually through a resettlement programme after an earthquake has occurred.

The people of the region are neither involved in the development nor implementation of the structures, and these structures, although they may meet earthquake resistance requirements, often ignore other needs. In several cases the conventional approach has failed when people have left their newly provided houses and have repaired and moved back into their old homes.

In areas of earthquake destruction, such as the rural Siah Ho region north of Bandar Abbas, whilst a certain amount of reconstruction work can be done with the help of external government aid, using the services of contractors and materials imported into the region, much of the reconstruction work and certainly most of the future building will be done by local people themselves. In a remote mountain area, a combination of extremely poor or non-existent road connections and local poverty make the large-scale importation of building materials and equipment impractical over a long term. Through the development of indigenous building methods, solutions can be reached which are economically, socially and environmentally suited to the region and remain within the control of local people. Simple improvements in local building methods in the Siah Ho and Zarand areas would have prevented much of the damage and loss of life which did occur.

This paper has two main parts: the first part assesses the effect of earthquakes on the indigenous building types in the two areas sur-

veyed, and the second part proposes a methodology for the introduction of improved building techniques into earthquake areas. A programme of short training workshops held in rural areas, in which village builders participate is proposed as a way of upgrading indigenous building techniques. A case-study is used to illustrate this.

## 2.0 SURVEY OF EARTHQUAKE AREAS

### 2.1 Bandar Abbas

The Bandar Abbas area was visited by members of the Development Workshop in March 1977 (Farvardin 2536), a few days after the major earthquake shocks occurred. The Siah Ho area, about 60 kms to the northeast of Bandar Abbas, was one of two areas that suffered the worst damage from the earthquake. The villages of Khoorgar, Sarkhah and Gi shan were visited. In all three villages there were no buildings that were undamaged by the earthquake. An extremely high proportion of the buildings had either partially or totally collapsed. Of the range of buildings seen in the area, no one type appeared to have escaped earthquake damage, although certain elements and techniques had offered greater resistance to damage.

Three main local types of construction are used in the region: palm frond stem shelters; mud brick walls with flat timber and mud roofs; and stone walls with flat timber and mud roofs. In addition, a few buildings have been built using techniques and materials imported from outside the area.

#### 2.1.1 Palm Frond Stem Shelters - "Kapar":

Shelters using a timber framework - usually palm tree trunks - and using palm frond stem matting for covering the roof and sides, are used for summer houses and for animal shelters as well. Because of their framed construction and lightweight panel cladding, these shelters remained largely intact and provided valuable emergency shelter after the earthquake. There were some examples where part of the support for the matting roof had collapsed, usually where part of the shelter was supported by a mud or stone wall which had collapsed. However, these shelters indicated some important points in earthquake protected construction: firstly, that a framed construction that can move intact is less damaged; and secondly, that lightweight roofing, even in the event of collapse, causes less damage and injury.

The other two types of construction (mud brick and stone) both had flat roofs using timber beams, matting and mud.

#### 2.1.2 Mud Brick Walls - "Divaar Kheshti":

The failure of these walls was facilitated by the lack of bonding through the width of the wall. Walls were built with an outer and inner course of bricks, with only the mortar to hold the two halves together. These two halves tended to separate during the tremors, so that neither half consequently was strong enough or thick enough to stand up on its own or to support its load, leading to collapse. In the absence of observing the actual collapse of these buildings, it is not possible to state accurately which part collapsed first or exactly how; however, the lack of bonding would facilitate the total disintegration of the wall. There was also evidence that the strength of the walls had been reduced by termite bore holes, which seemed particularly the case for the mud mortar used between the bricks, which may have been prepared with less care than the mud bricks themselves. Similarly, where timber had been embedded into the walls (basically a good practice in reinforcing and framing the walls of a building for earthquake protection), it had been attacked by subterranean termites and substantially weakened. There were some instances where walls had fallen intact as a result of the movement. Examples of this were particularly apparent where existing openings had been filled in at a later date with no bond to the sides of the opening and with nothing to resist the collapse of the added wall, which in several cases was seen lying almost intact on the ground.

In all these cases, the instability of the wall was increased by sub-standard foundations, or none at all.

#### 2.1.3 Stone Walls, Rubble and Mud Mortar:

Stone walls were most commonly built using mud mortar which provided practically no adhesive bond between the

stones, and therefore little to stop the whole wall collapsing into a heap of rubble when shaken.

Additionally, stone walls were built with no bonding - small round stones placed on top of each other formed the two sides of the wall, with general rubble and earth filling in the gap between. In many cases the outer surface had simply peeled off. Elsewhere the two sides had separated and had both fallen away. If walls are load bearing, any such failure will cause the roof to collapse.

There were very few examples of stones being laid in such a way as to bond one side of the wall to the other. Where stone had been properly laid with a bond, and good mortar used, the building had suffered far less damage.

#### 2.1.4 Corners:

In both stone and mud wall constructions, the corners were the weakest points, and even where the building had not totally collapsed, there were severe cracks at or collapse of the corner. This is due to the weakness resulting from the two different orientations of the walls in relation to the movement of the ground, causing conflicting movement in the walls. Once again, the absence of proper bonding had increased this effect.

#### 2.1.5 Openings:

Nearly all the openings had been spanned with timber lintels. Because in most cases the lintels projected only a small amount into the wall on either side, the timber pulled out and the structure above collapsed. Even where the projection was sufficient, severe cracking on either side of the opening occurred.

The position of the opening was also important. Where openings occurred close to the corners, the combined effect of the corner and the opening resulted in greater cracking and more often collapse.

#### 2.1.6 Roofs:

Clearly the collapse of walls supporting a roof will cause

the roof to collapse as well. However, it was noted that walls carrying a roof load were more likely to fail than those carrying only their own weight. Where the timber beams did not project far enough over the wall, the outward movement of the wall resulted in the beams slipping off and pushing the wall over as the roof fell. Thus the roof itself can increase the likelihood of the wall collapsing where the junction between the two is not properly built. This situation was also seen with steel I beam construction.

Timber roofs using a large number of thin beams (of approximately 10 cm diameter) tended to remain in place better than roofs using fewer but larger beams. The load on the former type is more evenly distributed along the length of the wall, so that no one point is under too much pressure. The palm matting used over the timber beams was also helpful, since being flexible and in large sheets it could take up some of the movement.

#### 2.1.7 New Materials:

Only one building, a school, was seen during the visit that used materials and techniques not readily available in the area. The walls were of concrete block and the roof made of steel I beams with brick jack arches. There was a sheet of chicken wire mesh under the roof structure onto which the plaster had been applied. All the walls were cracked and one of the loadbearing walls had totally collapsed. The roof had collapsed.

The steel I beams had not been tied together and overall the building had suffered from insufficient, and in parts non-existent framing. With the movement of the steel, the jack arches had also collapsed.

As a general comment, the standard of building was extremely poor, with very little technical ability. Much of the damage could have been avoided if the materials had been used properly and carefully.

## 2.2 Zarand Earthquake

At 3.40 a.m. on 30th Azar 2536 (20th December 1977) an earthquake with a reported magnitude of 6.2 R. devastated three villages and damaged to varying degrees approximately seventy others in the Zarand region of Kerman. The loss of life was estimated at over 500 persons by the Red Lion and Sun Society. This area was visited by members of the Development Workshop on the 10th Bahman (30th January) in order to assess the nature of the damage to the local buildings.

The villages of Sar Bagh, Dartangle and Gisk, situated between six to ten kilometres north-east of Zarand, were the areas most damaged by the earthquake. Buildings had collapsed in other villages as well as the town of Zarand, but the extent of the damage in these areas was comparatively low. Almost all the buildings in the three main villages had partially or totally collapsed and very few structures could be considered habitable.

The great extent of this damage we attribute to the poor construction techniques used in the buildings rather than the magnitude of the earthquake. The majority of the buildings were constructed with rubble stone walls with vault and dome roofs. In the village of Dartangle, the old quarter was mainly mud-brick construction with rubble masonry buildings situated on the outskirts. Fired brick and steel I beams were used in a few buildings in the three main villages. Vaults were constructed mainly of rubble stone masonry, but some were of fired brick and mud-brick was also used.

### 2.2.1 Wall Construction:

Rubble Stone Masonry Walls - Stone walls were most commonly built using mud mortar, which provided practically no adhesive bond between the stones, and therefore little to stop the whole wall collapsing into a heap of rubble when shaken.

Additionally, stone walls were built with no bonding - small round stones placed on top of each other formed the two sides of the wall with general rubble and earth filling in the gap between. In many cases the outer surface had simply peeled off. Elsewhere, the two sides

had separated and had both fallen away. If walls are load bearing, any such failure will cause the roof to collapse.

There were very few examples of stones being laid in such a way as to bond one side of the wall to the other. Where stone had been properly laid with a bond, and good mortar used, the building had suffered far less damage.

Mud-Brick Walls - The failure of these walls was facilitated by the lack of bonding through the width of the wall. Walls were built with an outer and inner course of bricks, with only the mortar to hold the two halves together. These two halves tended to separate during the tremors, so that neither half consequently was strong enough or thick enough to stand up on its own or to support its load, leading to collapse. It was also observed that the majority of the badly damaged mud-brick buildings were those poorly maintained. Thorough and regular maintenance of mud-brick buildings, especially against water damage, is essential to perpetuate their strength.

However, mud-brick buildings had shown greater resistance to collapse than the common stone structures. Even where they were badly damaged they had not collapsed totally and thus caused fewer deaths. The local people reported that the time lag between the tremors and the collapse of the buildings was greater in the mud-brick buildings than those constructed with stone and thus the inhabitants of the mud-brick buildings were able to escape. This is probably due to the greater adhesiveness and homogeneity between mud-brick and mud mortar.

#### 2.2.2 Roof Construction:

Rubble Stone Vaults - This rather unusual technique of vault building consists of narrow arched "ribs" constructed from gypsum reinforced with thin branches. The arches are positioned at approximately one metre centres.

in between which rubble stone is placed in gypsum mortar.

This system of construction creates a very heavy roof, undesirable in earthquake areas. The stones are held together merely by the mortar, and the lack of bonding between them causes collapse in the event of earthquake movement. Hence the structure of the roof depends solely on the strength of the gypsum. The smooth edge of the arched ribs are not tied to the stone infill and therefore, as it was often the case, the vaults had sheared and collapsed at the junction of the ribs and the stone infill.

Mud-Brick Vaults and Domes - As in the case of the walls, mud-brick roofs performed better than the stone vaults. The homogenous nature of mud-brick roofs built with mud mortar enables them to behave similar to a shell structure, thus holding together in the event of earthquakes better than masonry structures. Another important factor is the lighter weight of the roof which has a lower moment of inertia, thus being more stable in case of movement. The mud-brick units which are considerably lighter than the stone are likely to cause much less injury to occupants in case of collapse.

It was observed that mud-brick domes withstood the earthquake better than the vaults. This is due to the double curvature of the domes distributing the thrusts in all directions. The vaults which were tied with reinforcing bars sufficiently anchored into the side walls proved to be much safer structures. In a series of vaults built side by side, the end vaults, if not properly tied, had collapsed and the internal vaults showed progressively less damage. In the internal vaults the opposing thrusts balance each other, while stresses are concentrated toward the end vaults, causing their collapse; thus, if the end vaults are strengthened, it would improve the resistance of the whole series of vaults.

### 2.2.3 Brick and Steel Construction:

Very few such structures existed in the three villages of Sar Bagh, Dartangle and Gisk, but in Zarand, as in most Iranian towns, steel and brick jack arch construction is quite common. Generally, this form of construction could withstand earthquakes of such magnitude, provided the structure is framed and well tied together. In cases where the steel was not a framed structure, which we found to be frequent, it had caused collapse or partial damage.

In general, the buildings were of a very poor standard of construction. Apart from special precautions that need to be taken in seismic areas, correct and thorough construction and maintenance techniques is essential to ensure safety in the event of an earthquake. In the villages visited, sufficient consideration was not given to bonding, horizontal and vertical reinforcement and regular maintenance, especially of public buildings.

### 3.0 BUILDERS' TRAINING WORKSHOP (A CASE STUDY)

The local rural builder, who is traditionally responsible in each village for most of the construction, both public and private, offers an appropriate channel for the introduction of improved building techniques and solutions to rural shelter problems. It is with these people that research should be carried out into more appropriate building in earthquake prone regions. Short workshop training programmes for local builders in post-disaster situations could equip them to meet reconstruction needs with improved building techniques.

The following is a case study of a builders' training workshop which dealt with building in earthquake areas as just one subject among many building problems. The Workshop methodology could easily be adapted to focus more particularly on building for earthquake protection.

A workshop for upgrading the skills of rural builders was organised by the Development Workshop in conjunction with the Selseleh Integrated Development Project in the spring of 1977. The workshop was carried out in Yazd in south central Iran, an area of advanced indigenous building techniques. Builders from villages in Luristan Province, Iran, participated in the two month programme. They were involved in experimenting with improvement to their local materials and building technologies. Experience was shared between workshop participants, which included village builders, architects and master builders from other regions of Iran. Solutions to village settlement problems were arrived at through discussion, then tested in the field.

#### 3.1 Aims:

To develop the practical and organisational skills of village builders so that they are equipped to meet most rural shelter needs without dependence on city based contractors, engineers and building materials. This also means that capital invested in rural building remains in rural areas.

#### 3.2 Methodology:

The workshop methodology adopted was: learning through discussion, through practice and through experimentation.

For example, discussion on building methods, design and drawing principles was introduced by asking each participant to draw their own house and discuss its advantages and disadvantages. From these discussions village housing and detailed building problems were identified and drawing skills were developed.

Each aspect of building construction, from different types of soils and foundations to walls and roofs were discussed in turn. On each subject the participants contributed their experiences and optimum solutions were agreed upon. Each building solution was tried out in practice in a yard set aside for such testing. At the same time, experiments were carried out on local materials like timber, stone and mud-brick. Soils were tested using simple sedimentation techniques that could be mastered by any local builder. Stabilisers for mud-brick and renders for improving earth walls against rain and wind weathering were developed for local soil types.

In the evening, literacy classes were conducted for the largely illiterate village builders. The workshop demonstrated the importance of basic literacy to the builders by relating it to their work. By gearing a literacy programme directly to the problems of reading plans and keeping their own building records, builders developed a keen interest in becoming literate.

### 3.3 Subjects Covered:

#### 3.3.1 Problems and potentials of Indigenous Building and general village development:

- problems of rural underdevelopment
- potentials for small-scale village industrialisation using local resources
- rural shelter and village settlement problems
- the role of the village builder as a development cadre.

#### 3.3.2 Basic Design Principles:

- site planning and orientation
- relationship of spaces and elements within a building.

#### 3.3.3 Reading Drawings and Laying Out Buildings.

#### 3.3.4 Foundations:

- for differing soil and site conditions
- differing building requirements

#### 3.3.5 Walls:

Mud, mud-brick, fired-brick, stone and mud-brick and fired-brick combinations. For each type of wall the costs, structural, physical and climatic properties were compared. Builders learned the best methods for compacting mud, making mud-brick, fired-brick, types of mortar, required wall thicknesses, brick laying methods, etc.

#### 3.3.6 Timber Roofs:

Timber roof types in Iran and other countries, new alternative timber roof types and timber trusses. Through construction and experimentation each type was evaluated.

#### 3.3.7 Vault and Dome Roofs:

The most widely applicable vault and dome types were selected. Builders learned how to construct these types, the variations of wall thicknesses according to roof span, arch construction, roof span to vault and dome curve ratios, the physical, structural and climatic properties of vault and dome.

#### 3.3.8 Building in Earthquake Areas:

The following are illustrations and notes from some of the workshop's discussions and experiments on earthquake construction. Earthquake considerations were discussed at each of the stages of building, i.e. foundations, walls, roofs, etc. and were also dealt with in specific workshop discussions on this problem.

### 3.4 Workshop Notes on Improving Indigenous Buildings' Earthquake Resistance

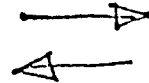
Motion at the focus of the earthquake is normally vertical and is actually less damaging to heavy structures than the sideways

horizontal motion of the earthquake's periphery.

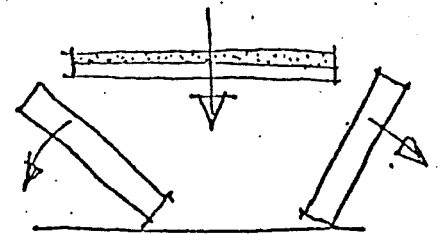
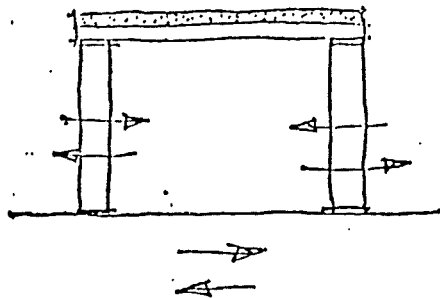
Centre of Quake —



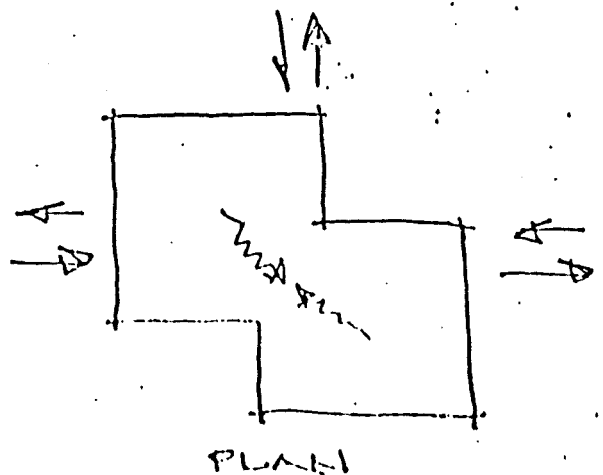
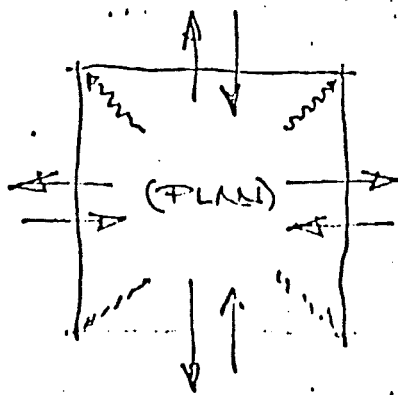
Periphery (most common)



If walls are supporting heavy roofs, the sideways sway gathers momentum and walls fall outward causing the roof to collapse.



Stress due to earthquake movement is known to concentrate at the corners of a building or at joints between building elements. These areas need special design and construction attention.

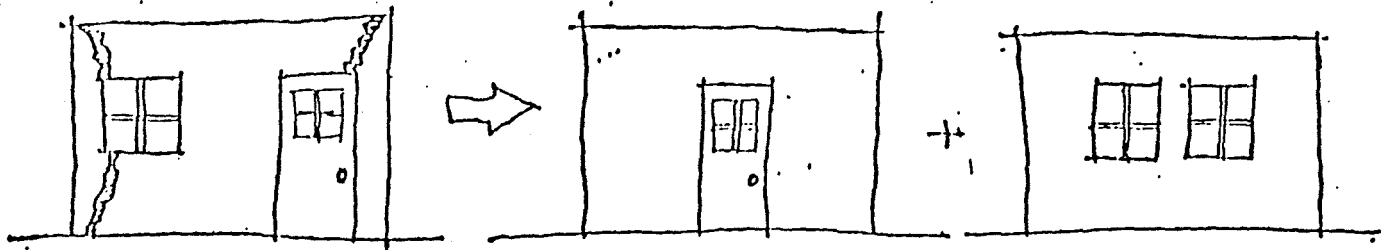


stress at corners

stress at joints

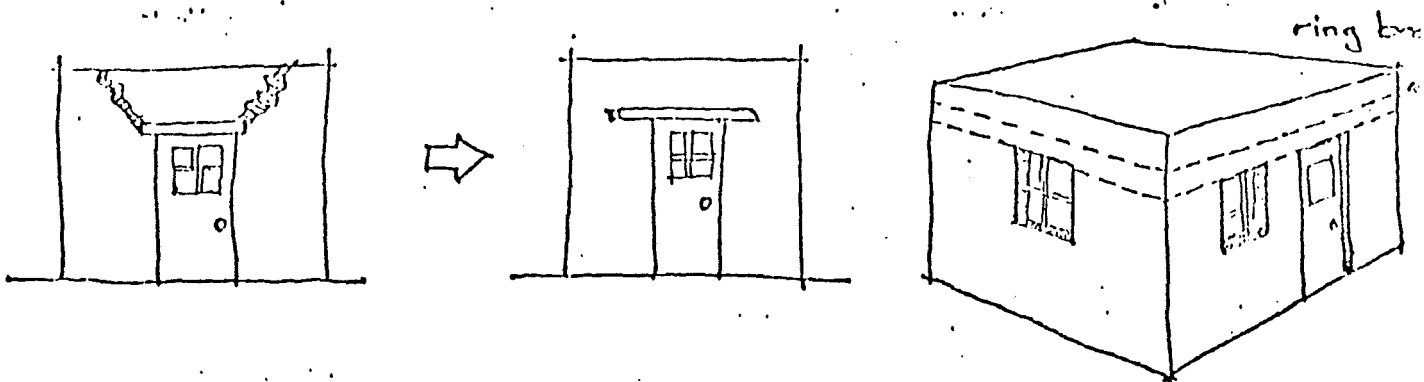
### 3.4.1 Design and Positioning of Openings

Because of stress concentration, openings should be avoided near corners of buildings.



Therefore it is better to position openings centrally on the walls.

Cracking and failure often occurs above door and window openings. These areas can be strengthened by extending lintels deep into walls or by using continuous reinforced ring beams as a common lintel above all openings, with extra reinforcing at corners.

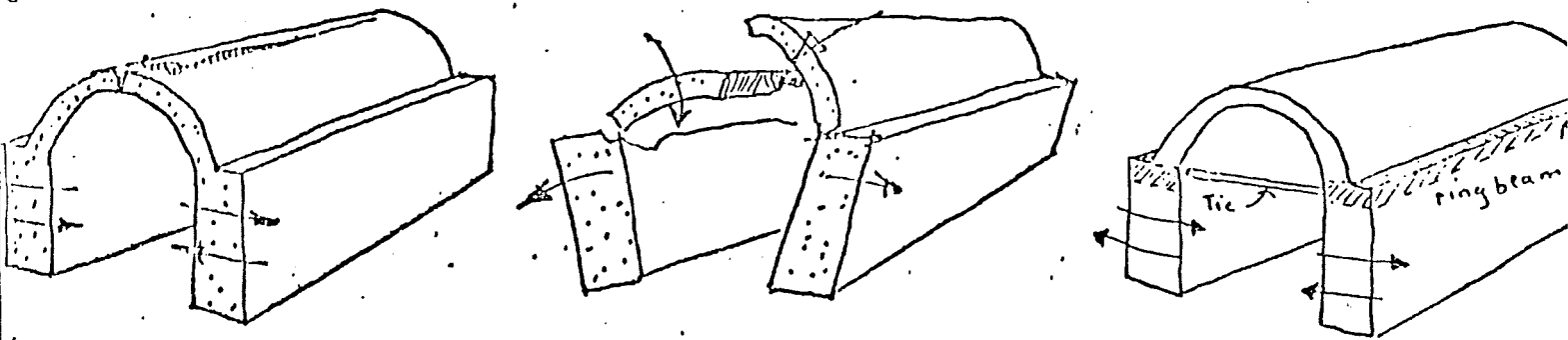


Such ring beams serve a double function in tying walls together to prevent movement which could cause roof collapse.

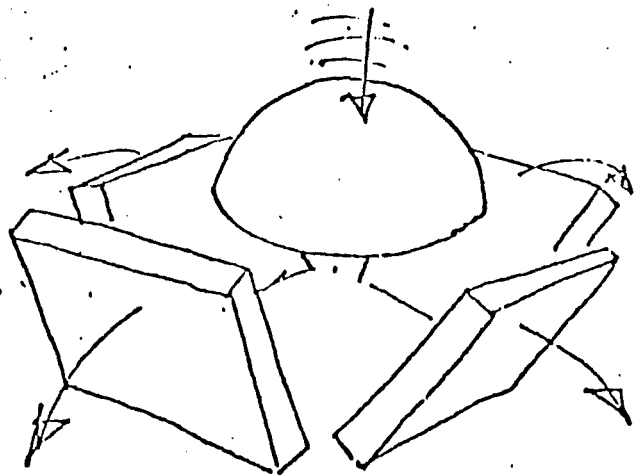
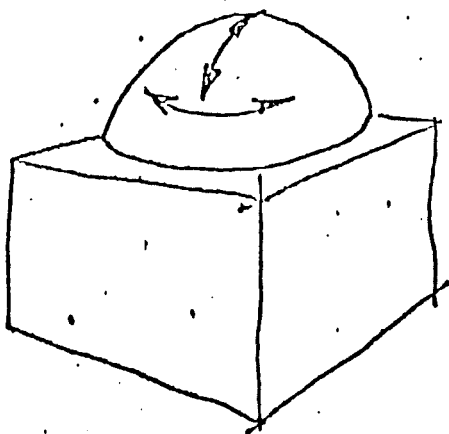
### 3.4.2 Vault and Domes

Vaults are much more susceptible to earthquake damage than domes. Any movement of walls upon which the vault rests will cause cracking in and failure of the roof.

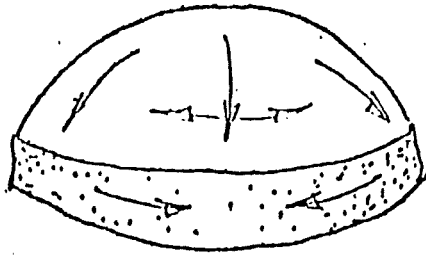
A tie rod connecting the two side walls, which should have a continuous ring beam at the base of the vaults, will resist earthquake damage.



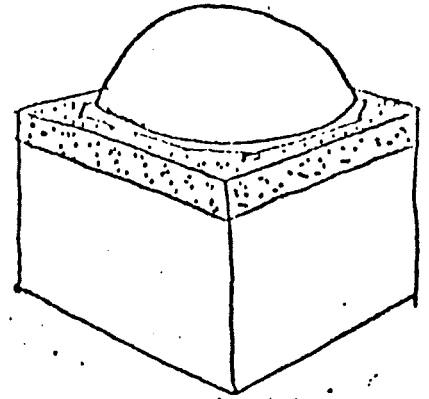
Domes, unlike vaults, have a double curvature and are able to withstand forces and movement much more easily. In many cases where walls have collapsed due to earthquakes, domed roofs have simply fallen intact.



## Ring Beam Reinforcing for Domed Roofs



tension ring



continuous beam  
ties walls together

### 3.4.3 Brick walls and Bonding

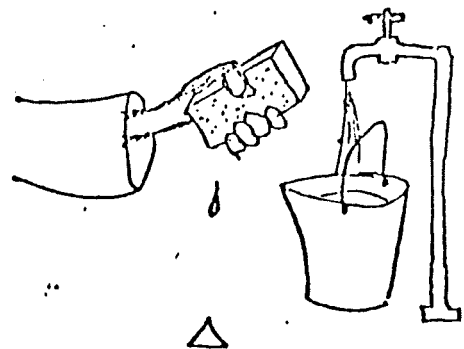
It can be seen from the survey of the Bandar Abbas earthquake area that poor bonding was a major reason for wall collapse. Better mortars and building practices can largely remedy this problem.

**Mortar Mixes:** mortars should provide good adhesion between bricks or stone, but should not be stronger than the brick or stone unit itself.

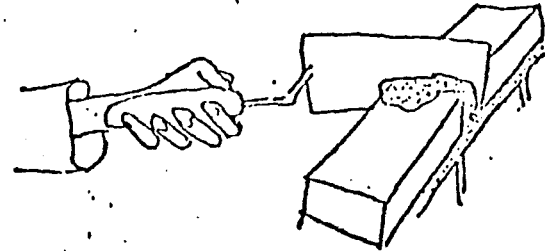
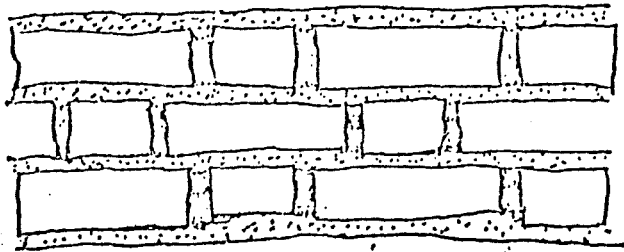
Mortar mixes:

1 cement, 3 sand

or: 1 cement, 3 lime, 9 sand.

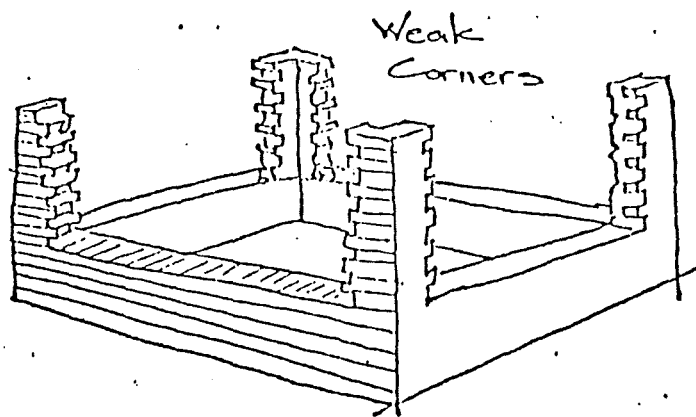


**Preparing Bricks:** bricks should always be thoroughly wet by submersion in a bucket of water before they are laid. This greatly helps adhesion between brick and mortar.



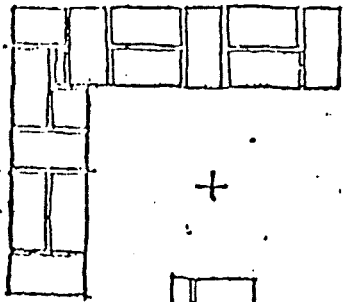
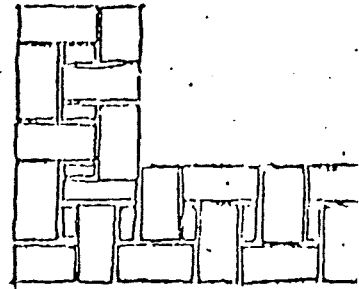
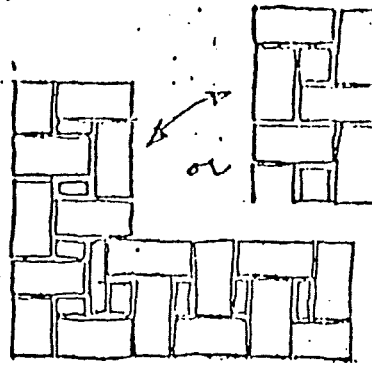
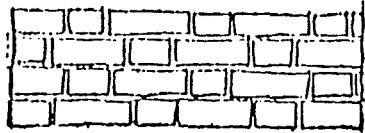
Mortar Joints: it is a common habit to save on mortar by applying mortar only to horizontal joints. By properly filling vertical joints the strength of a wall can be increased by 20% to 25%.

Bonding Corners: it is common practice in Iran to build up corners before infilling the wall. This is done to simplify the problems of lining up and levelling. This practice produces badly bonded and weak corners.

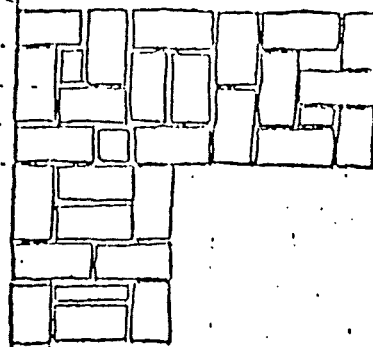
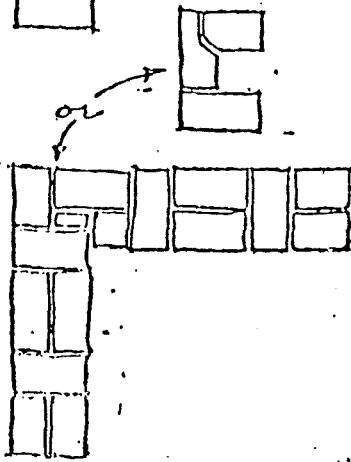


Since corners are critical stress areas, this practice should be discontinued. Brick courses should be laid continuously and wall building should progress evenly.

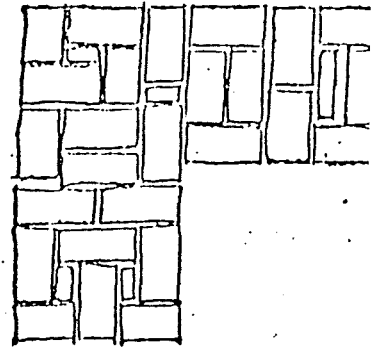
Proper Bonding: suggested bonding for brick walls of various dimensions.



+

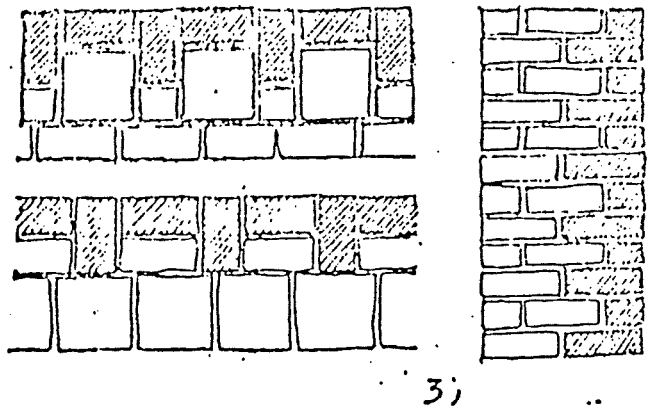
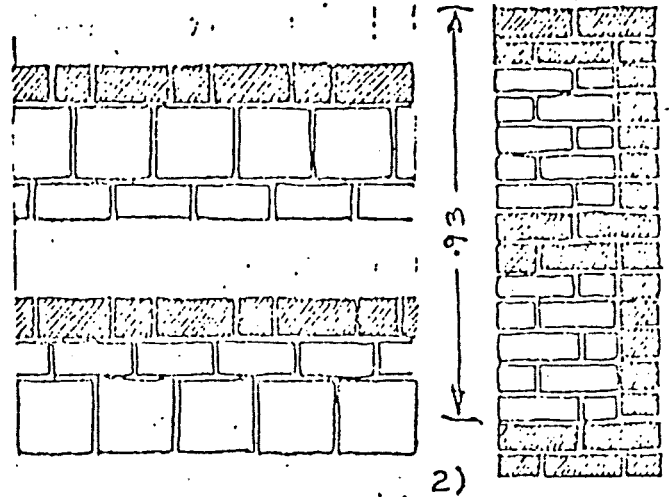
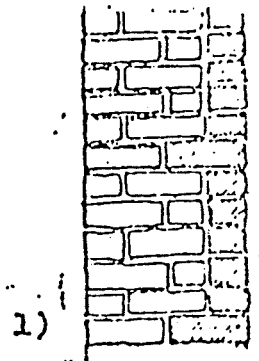
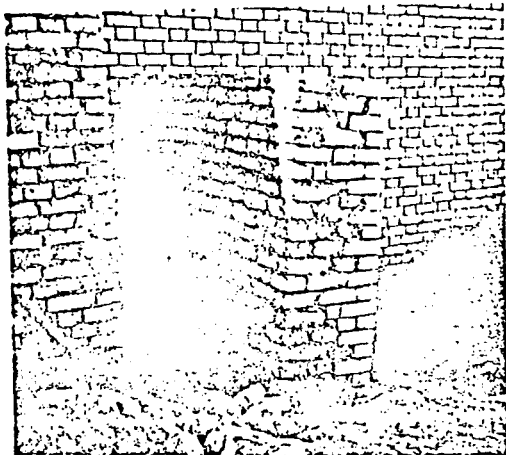


+



### From Bonding Experiments

- 1) poor bonding
- 2) good bonding
- 3) good bonding



### Bonding Unlike Materials

In many areas of Iran it is a common practice to use kiln fired bricks as an external skin to protect mud-brick walls against weathering and water damage.

Mud-brick walls with fired-brick facing usually are unsuited to earthquake areas because the fired-brick tends to peel off and falls outward, threatening people in the street. Since this prac-

tice is widespread and an efficient and economical system for protecting mud-brick walls, experiments were carried out in the workshop to develop a better bonding system.

Walls were built using different systems of fired and mud-brick bonding. Each wall was undermined and destabilised, and its collapse was studied for indications of bonding failure.

The second and third types (Figs. 2 and 3) collapsed as a unit without the brick separating from the mud-brick and were thus the more successful types.

#### 4.0 CONCLUSION

In summary, the following main weaknesses in construction techniques were noted, most of which could be easily avoided, thus improving the buildings' resistance to earthquakes:

1. Weak or non-existent foundations.
2. Weak bonding at corners and in the width and depth of the walls.
3. Poor maintenance of mud-brick walls.
4. Filling in openings at a later stage without bonding them into the existing walls.
5. Using mud-mortar in stone wall construction.
6. Damp rot or termite borings weakening timber beams.
7. Timber lintels and roof beams not projecting sufficiently into walls.
8. Door and window openings near corners.

This list and the suggestions for improvement in the last section of the paper are by no means exhaustive. It is, however, sufficient to indicate that in most cases it is not necessary to jump to too complicated and expensive building techniques. A thorough study and development of the indigenous methods would result in earthquake resistant solutions that are both socially and economically acceptable to the people. Local building workshops would act as the vehicles to both develop these solutions and introduce them into the affected community.

## BIBLIOGRAPHY AND REFERENCES

- Berberian, M.  
"Contribution to the Seismotectonics of Iran".  
Geological Survey of Iran, Report No. 39.  
Tehran, Iran. 1976.
- Building Research Station  
"Building in Earthquake Areas"  
Overseas Building Notes, No. 143, April 1972.  
Garston, Watford, U.K. 1972.
- Chetty, Dr. S.M.K.  
"Brickwork in Building Design and Construction"  
Building and Housing Research Centre, Tehran, Iran. June 1976.
- Dalby, A.F.  
"Small Buildings in Earthquake Areas"  
Building Research Station, Garston, Watford, U.K. 1972.
- Davis, Ian  
"Emergency Shelter"  
Disasters Journal, Vol. 1, No. 1. U.K. 1977.
- De Capna, N.J., Lin, S.C.  
"Earthquake Design Environment for Iran: A Microzonation Study"  
Building and Housing Research Centre, Tehran, Iran.
- Development Workshop  
"Indigenous Building and the Third World"  
Architectural Design Magazine, April 1975. London, England.
- Development Workshop  
"The Potentials of Indigenous Building Technologies"  
Centre for Endogenous Development Studies  
Communications and Development Review, Tehran, Iran. 1978.
- Edwards, J.D.  
"Earthquake Resistant Structures in Iran"  
Architectural Association Thesis, London, England. 1976.
- Hewitt, K.  
"Some Dimensions of Seismic Risk in Mountain Regions"  
Dept. of Geography, Wilfred Laurier University, Waterloo,  
Ontario, Canada.
- Hewitt, K.  
"Bibliography - Survey of Historic and Recent Earthquake Sites  
in Eastern Mediterranean"  
Dept. of Geography, Wilfred Laurier University, Waterloo,  
Ontario, Canada. 1978.
- Ministry of Development and Housing  
"Study of Construction of Earthquake Resistant Rural Houses"  
Iran. 1972.
- Manning, D.H.  
"Disaster Technology on Annotated Bibliography"  
Pergamon Press, Oxford, England. 1973.

Moinfar, A.A.  
"Preliminary Study of Ghir (Fars, Iran) Earthquake of  
10th April 1972"  
Plan Organization, Iran. 1972.

"A General Report on the Dasht-e-Bayaz and Ferdows  
Earthquake of 1968"  
National Plan Organisation, Iran. 1968.

Neghabat, F., Lin, S.C.  
"Earthquake Regionalization of Iran"  
Building and Housing Research Centre, Tehran, Iran.  
September 1976.

Tchalendo, J.S. and Ambraseys, N.N.  
"Earthquake Destruction of Adobe Villages in Iran"  
Annali di Geofisica, Rome. 1973.

United Nations Disaster Relief Organisation  
"Guidelines for Disaster Prevention"  
Vols. I, II and III, Geneva. 1976.

## MAPS

- i Field Study Area
- ii Major Faults in Middle East Region
- iii Epicenters for Iran
- iv Earthquake Intensity Contour Map

# FIELD STUDY AREAS



# IRAN



Regions Studied

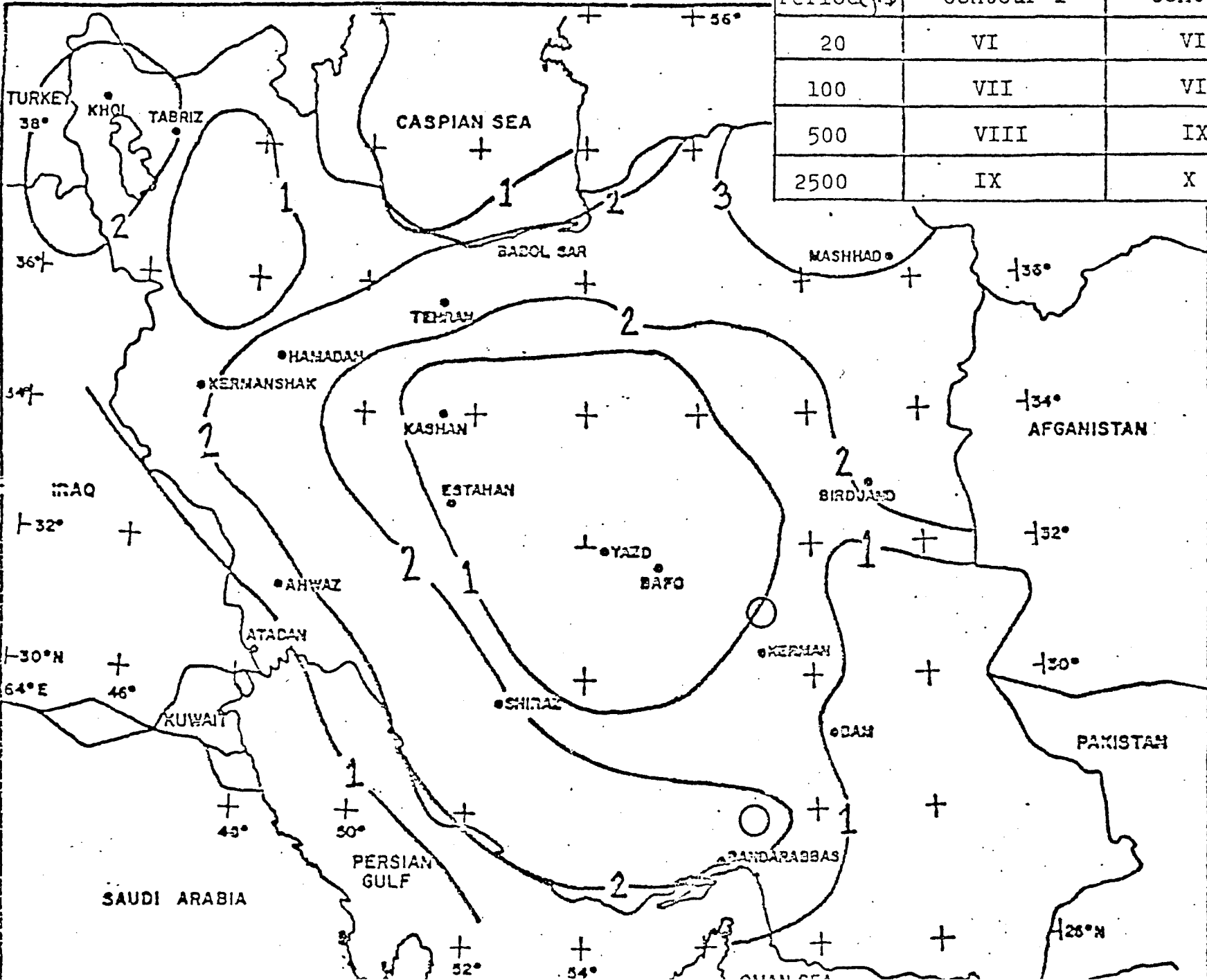


PROVINCIAL CENTRE



TOWN

Return Period (yrs)	Intensity (I)		
	Contour 1	Contour 2	Contour 3
20	VI	VII	VIII
100	VII	VIII	IX
500	VIII	IX	X
2500	IX	X	XI



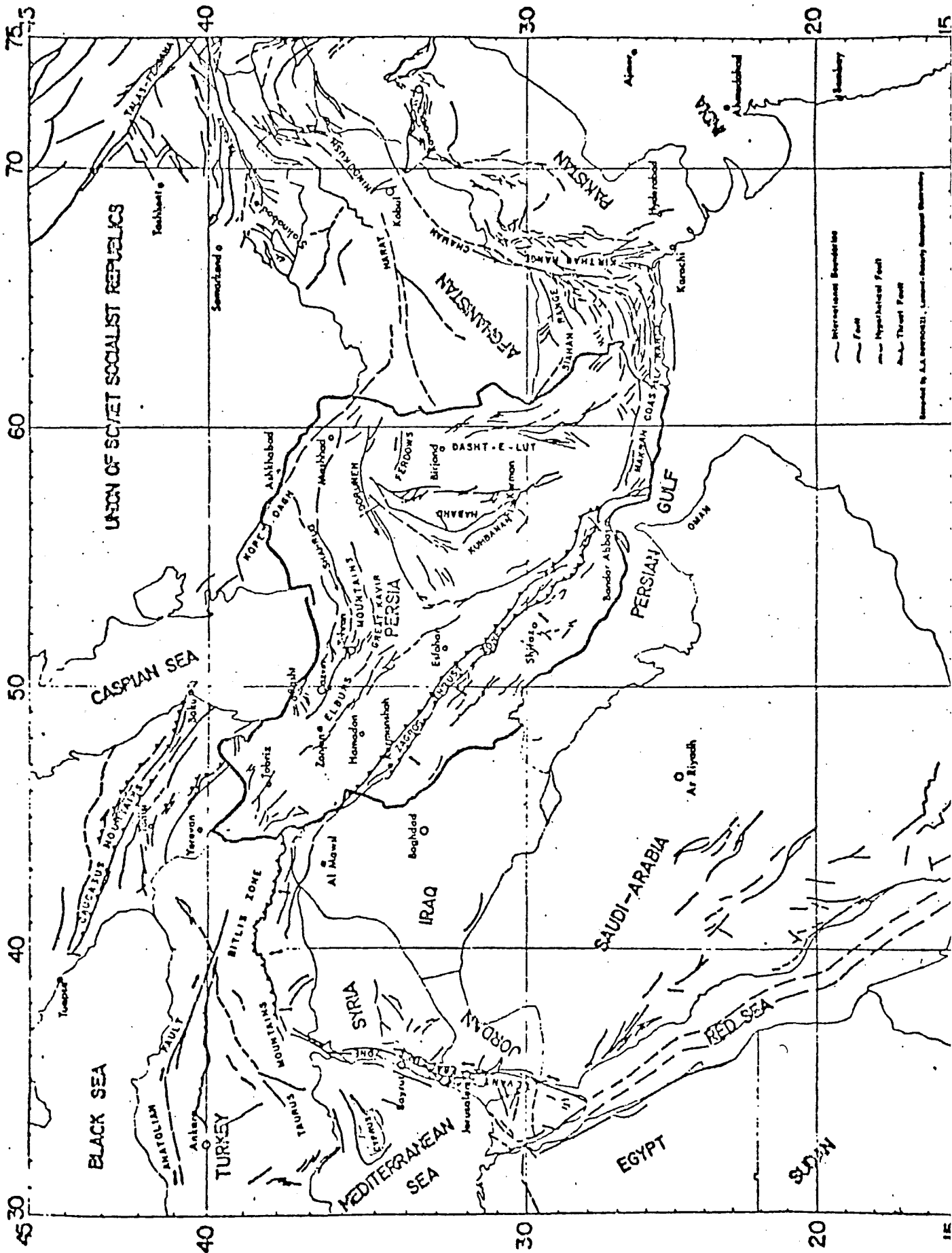
Ref. Building and Housing  
Research Centre, Tehran,  
Iran.

○ Study Areas

**EARTHQUAKE INTENSITY  
CONTOUR MAP**

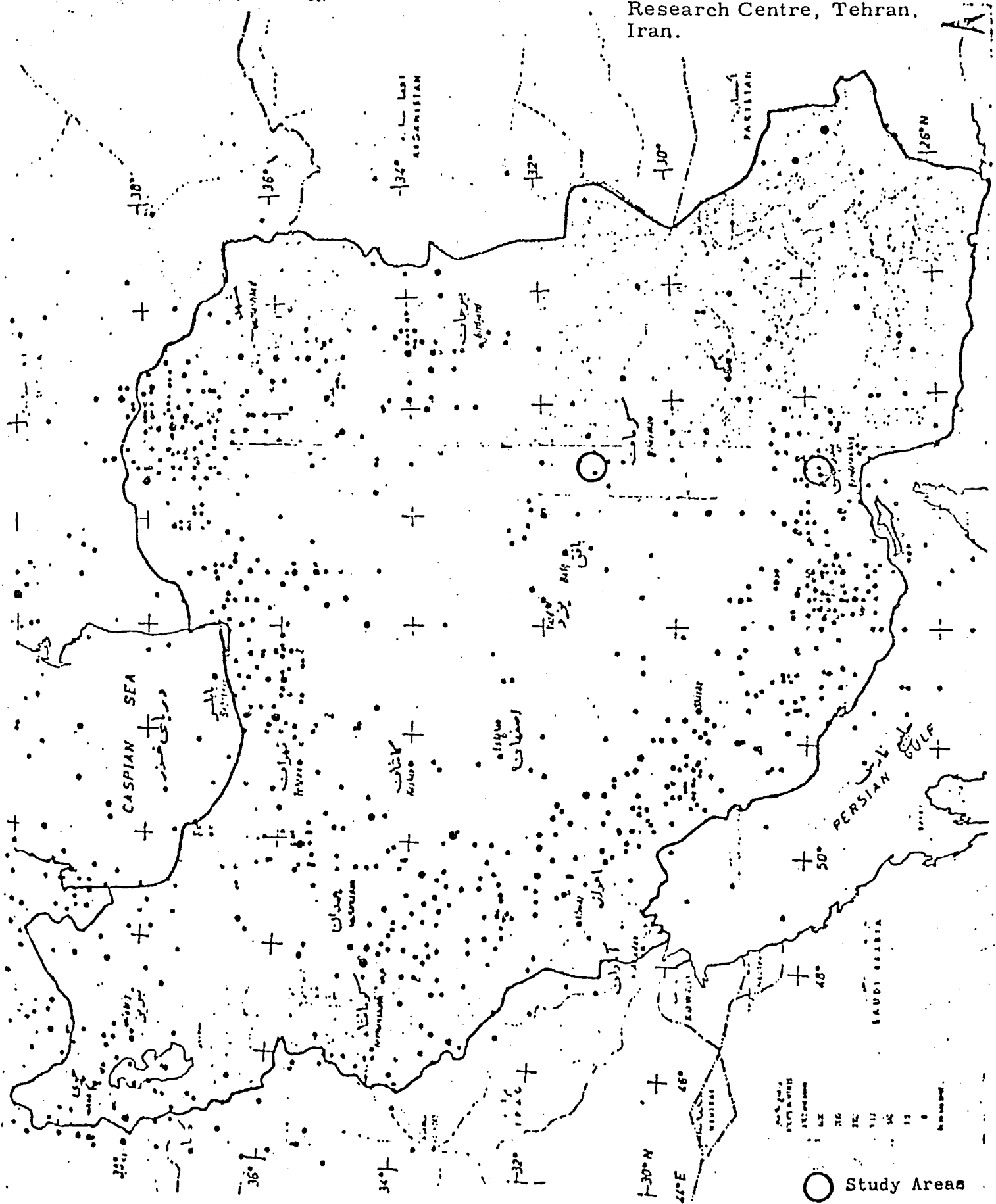
MAJOR FAULTS IN MIDDLE EAST REGION

Ref. Building and Housing  
Research Centre. Tehran,  
Iran.



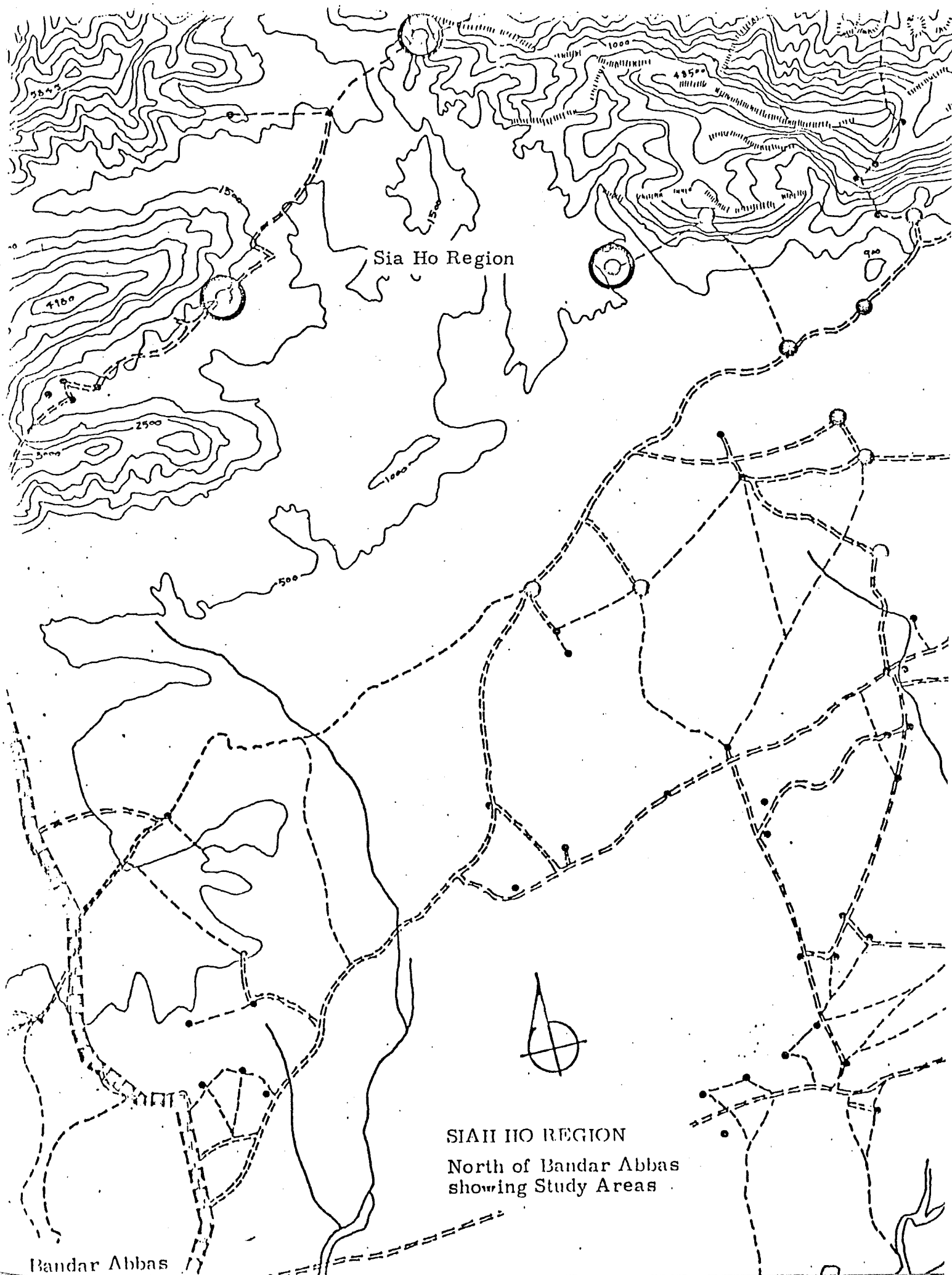
# EPICENTERS FOR IRAN

Ref. Building and Housing  
Research Centre, Tehran,  
Iran.



BANDAR ABAS ·  
SIA HO EARTHQUAKE REGION

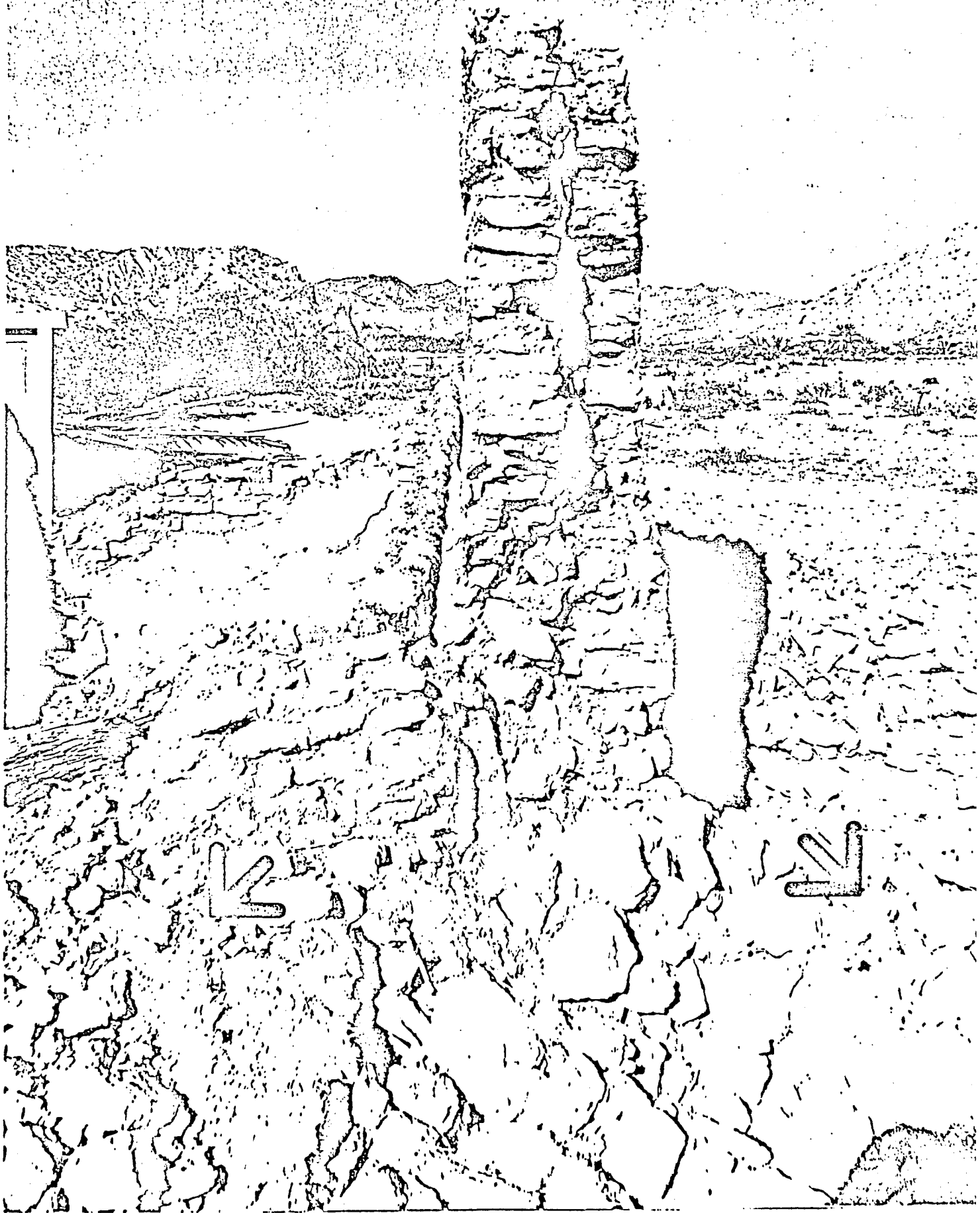
ILLUSTRATIONS



Sia Ho Region

SIAH HO REGION  
North of Bandar Abbas  
showing Study Areas

Bandar Abbas



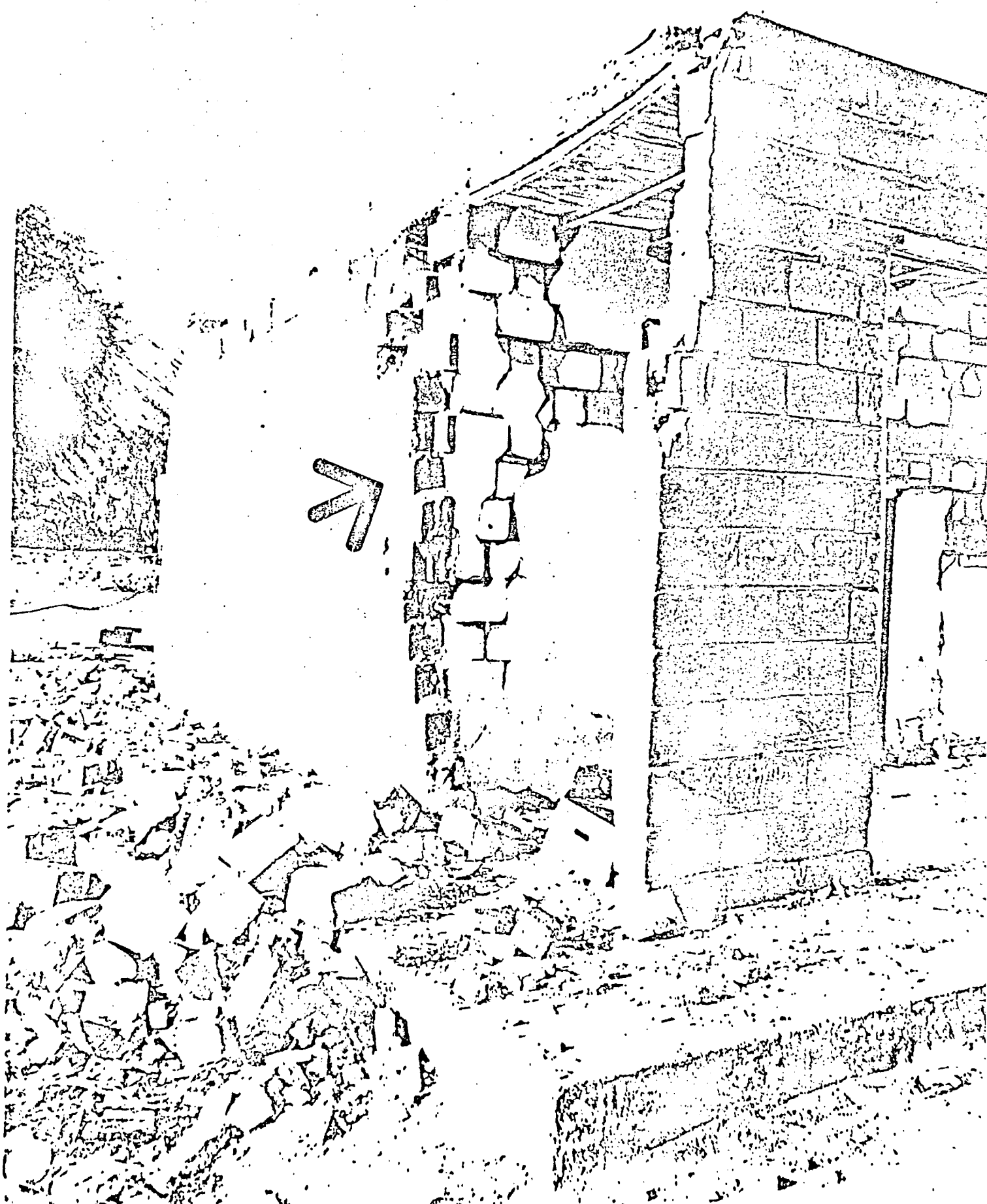
Examples of wall failure due to lack of internal bonding



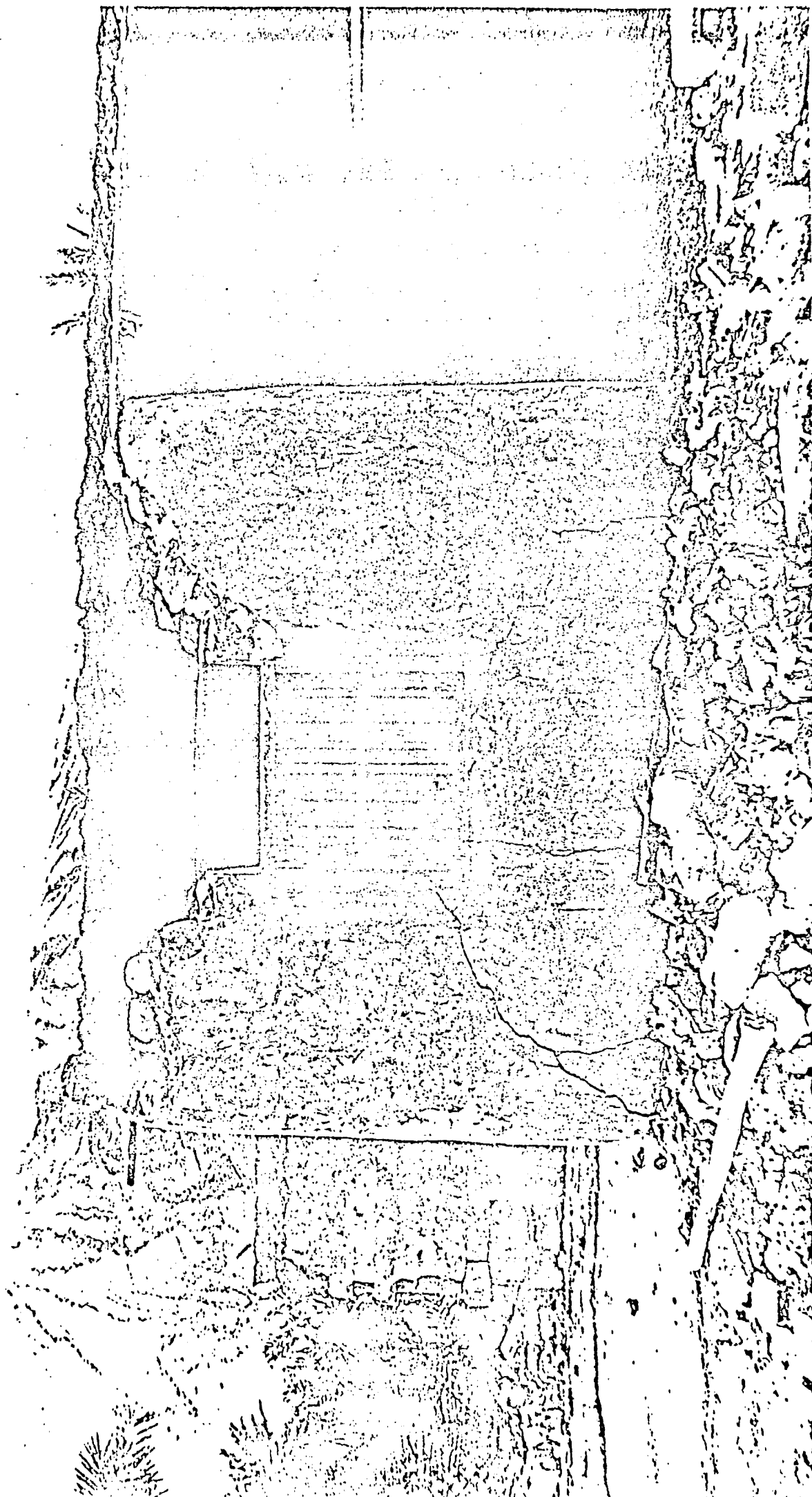
No bonding between



Examples of corner failures - due to stress concentratio



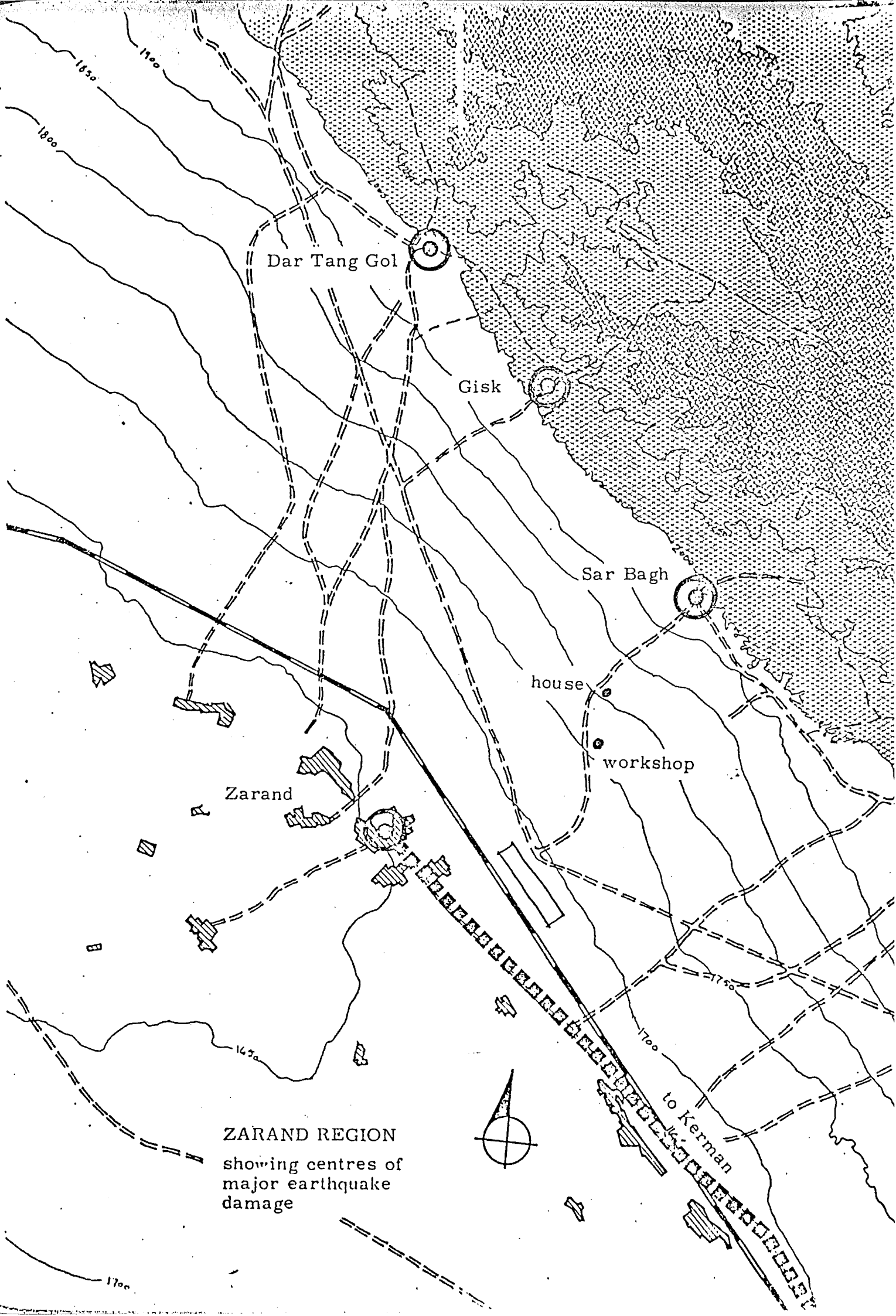
Corner failure  
and collapse of concrete



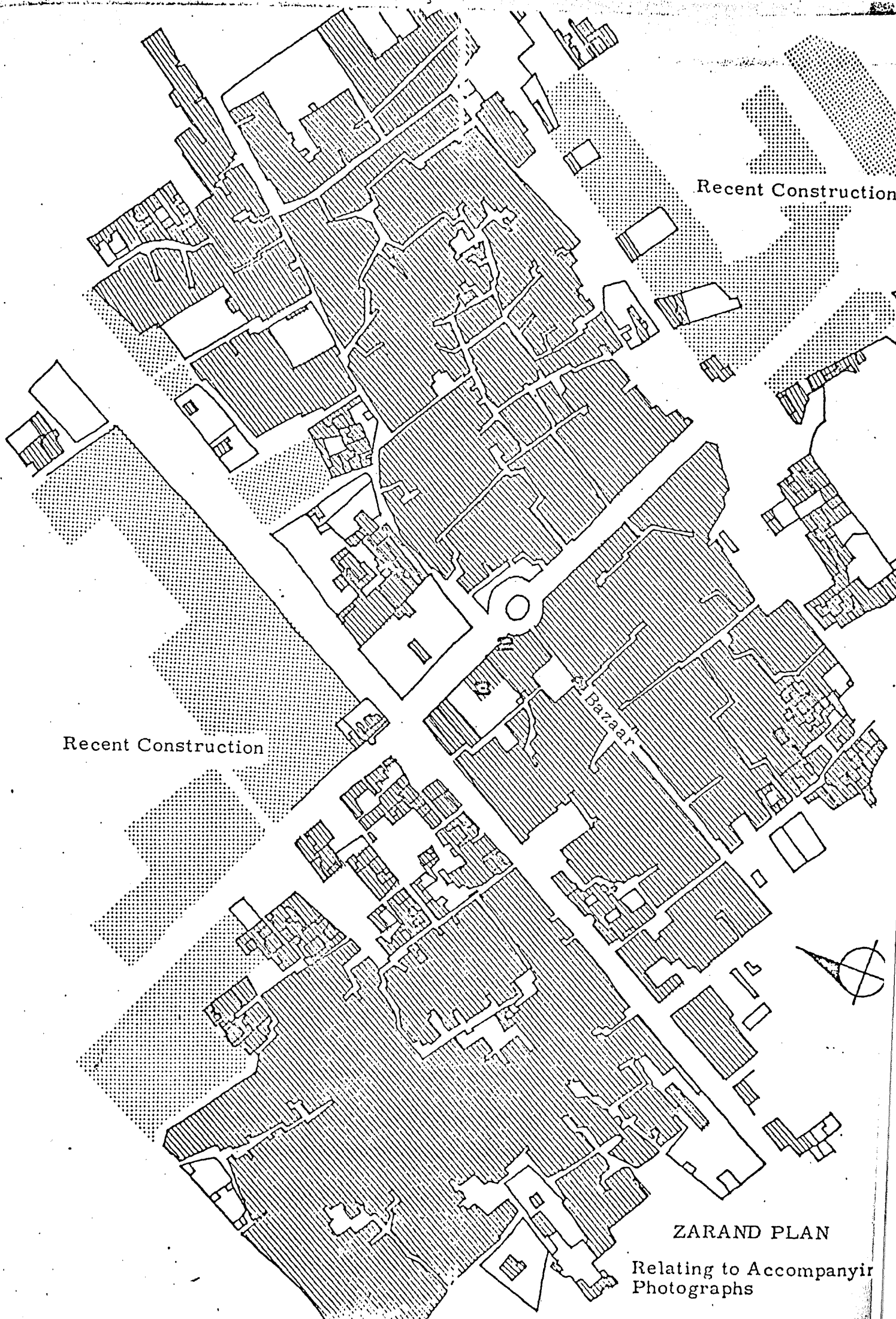
Lintels over doors and windows were not embedded deep enough into walls

ZARAND EARTHQUAKE REGION

ILLUSTRATIONS



ZARAND REGION  
showing centres of  
major earthquake  
damage



Recent Construction

Recent Construction

Bazaar



ZARAND PLAN

Relating to Accompanying Photographs

1

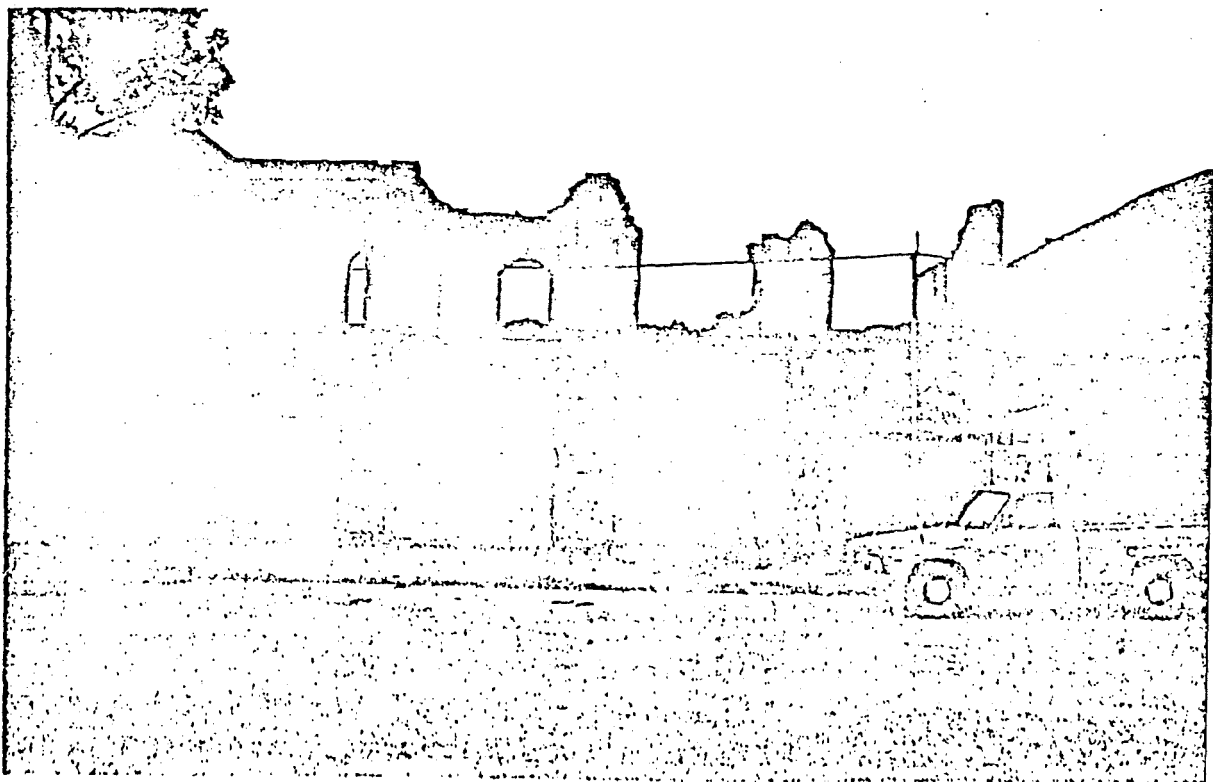
Zarand - Bazaar:

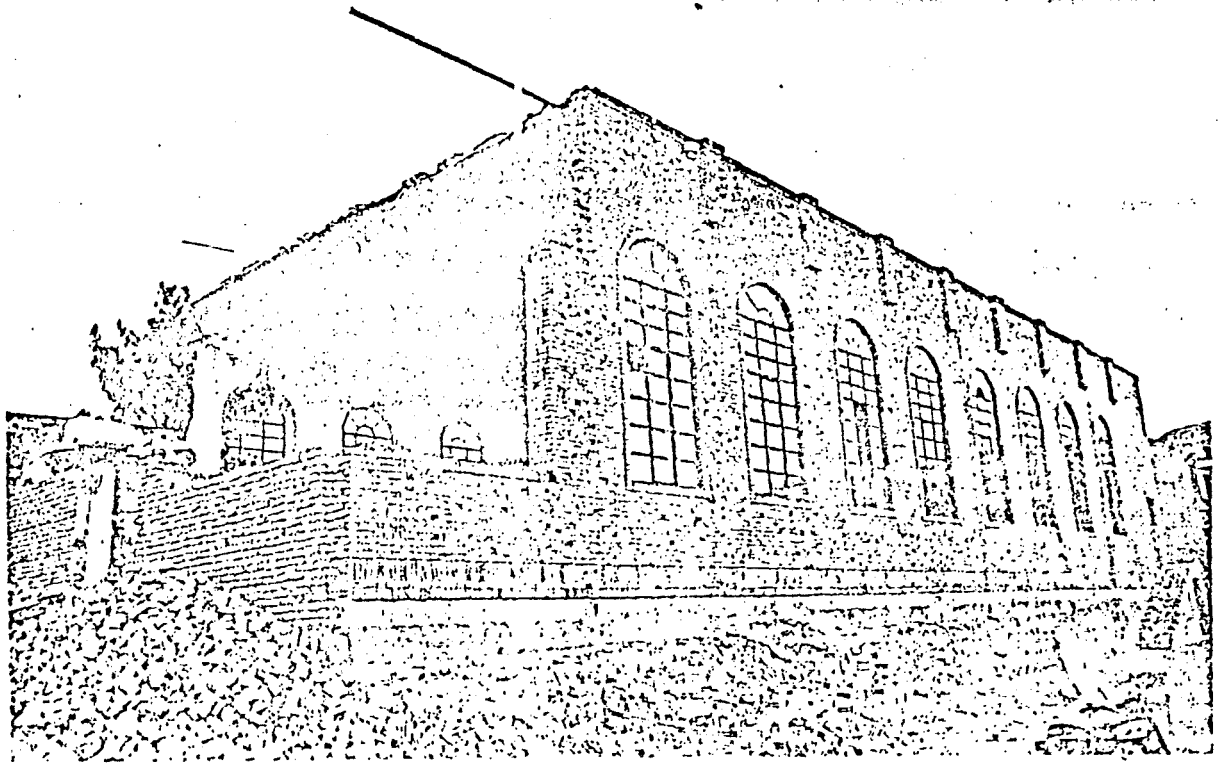
Collapse of bazaar roof probably due to poor repair.



2 Zarand -

Vaults built side by side show progressively greater damage toward ends.

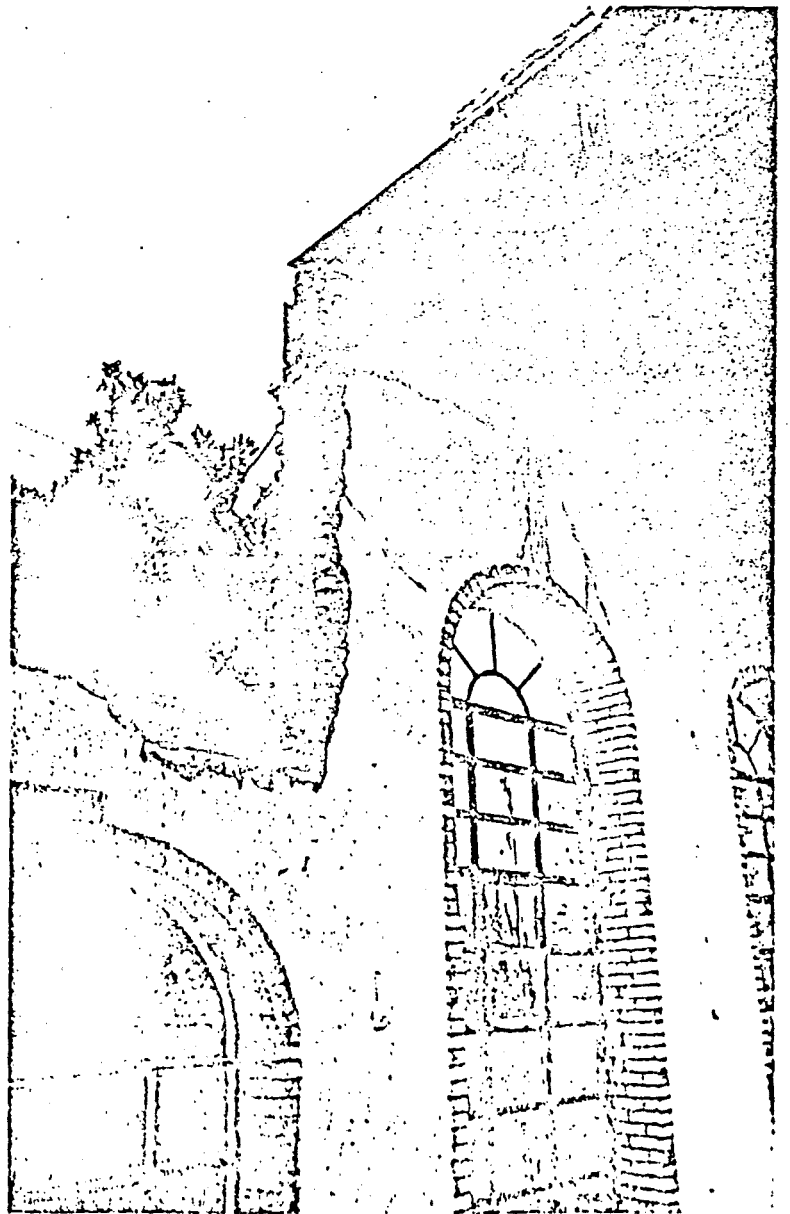




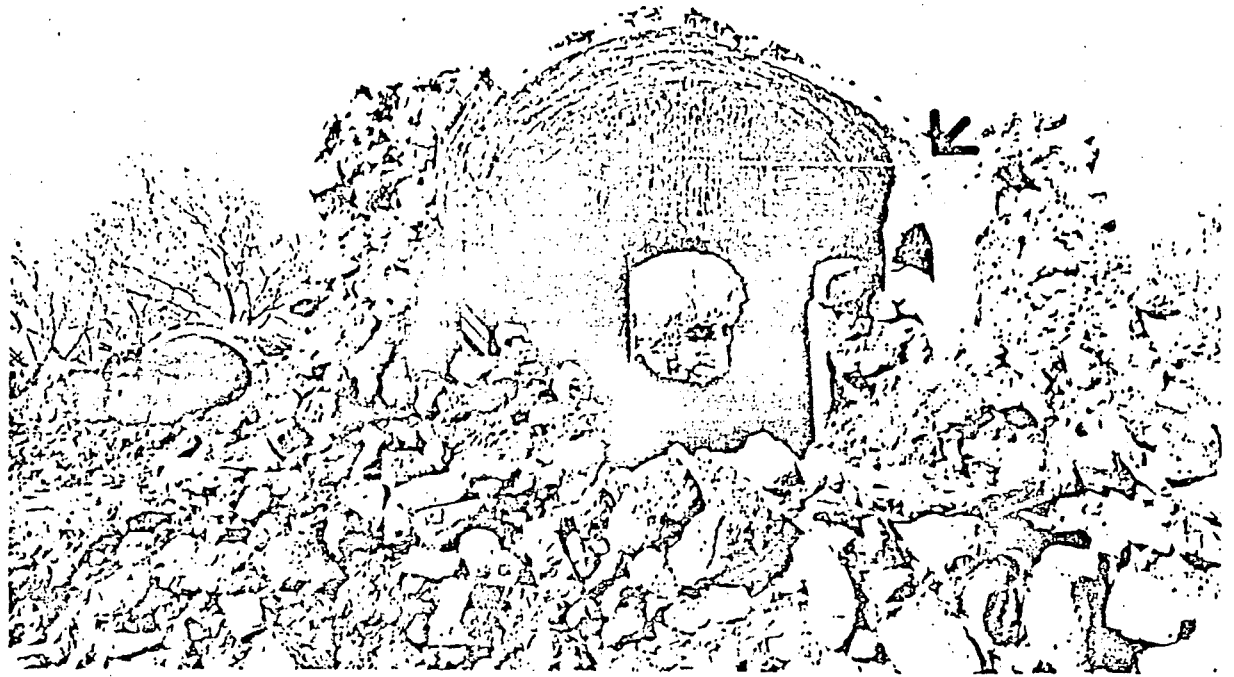
**3 Zarand:**

Recently built school failure due to improper steel framing, especially at corners.

Roof constructed of steel I beams and brick, supported by trusses.

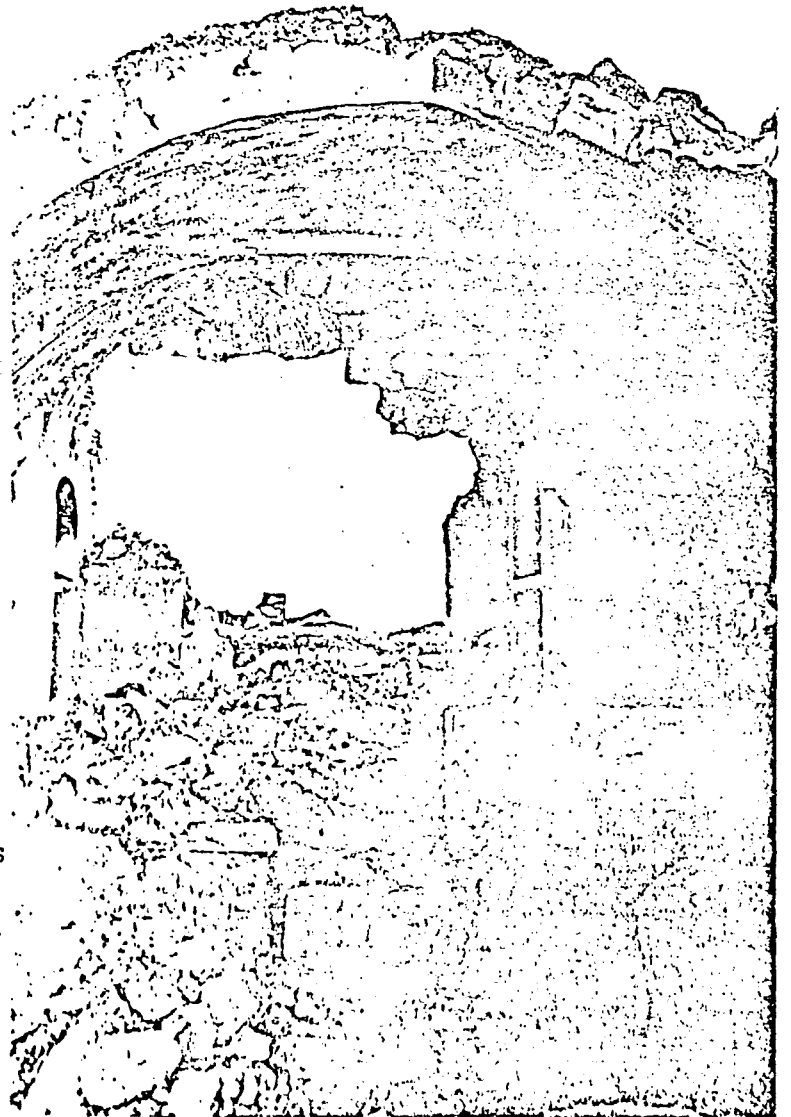


Detail of corners showing lack of steel framing.



Sar Bagh Village:

Brick vault collapse. Note metal tie rods are not anchored by continuous horizontal wall ties.



Sar Bagh:  
Stone vaults with gypsum ribs  
at approximately 1 metre centres

Dar Tang Gol:

Rubble wall failure due to lack  
of internal bonding.



Sar Bagh:

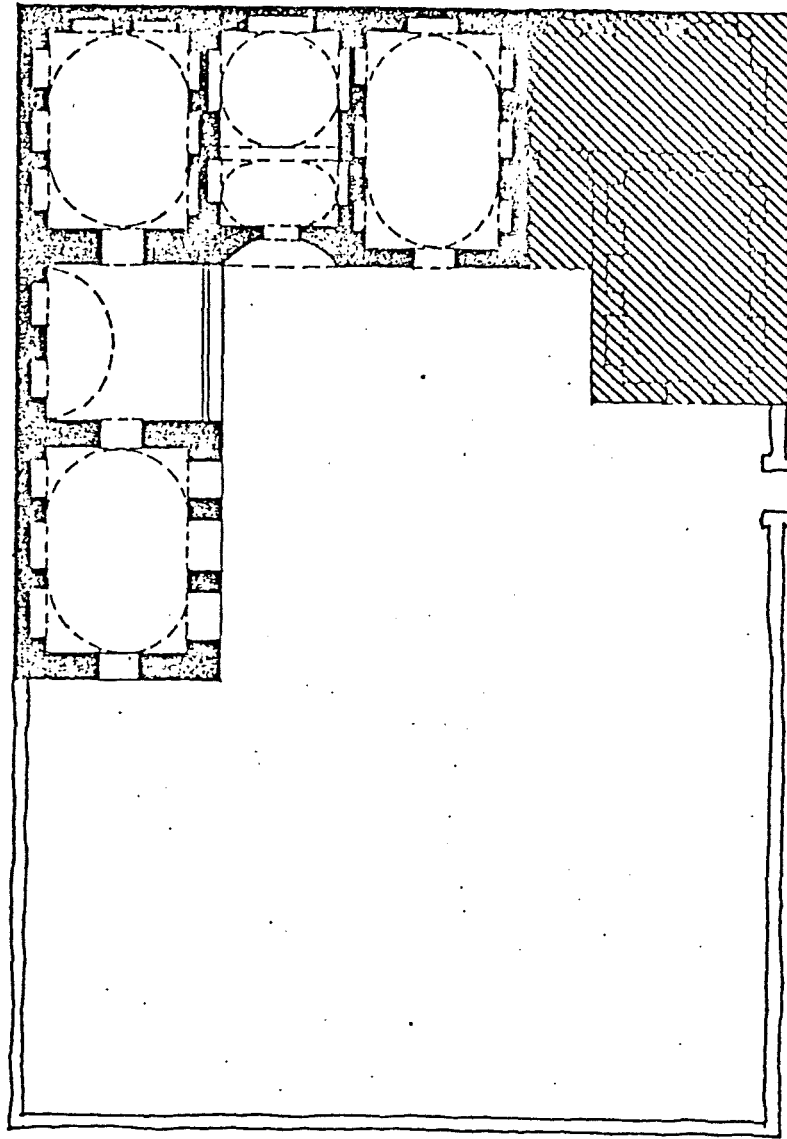
Corner failure due to stress  
concentration.



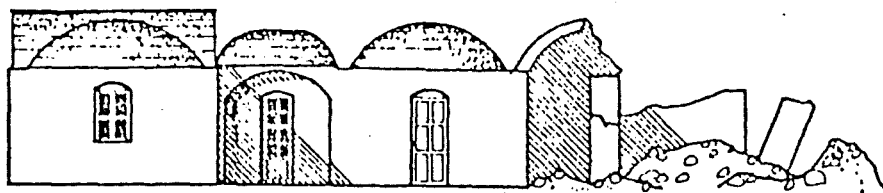
HOUSE AT SAR BAGH VILLAGE .

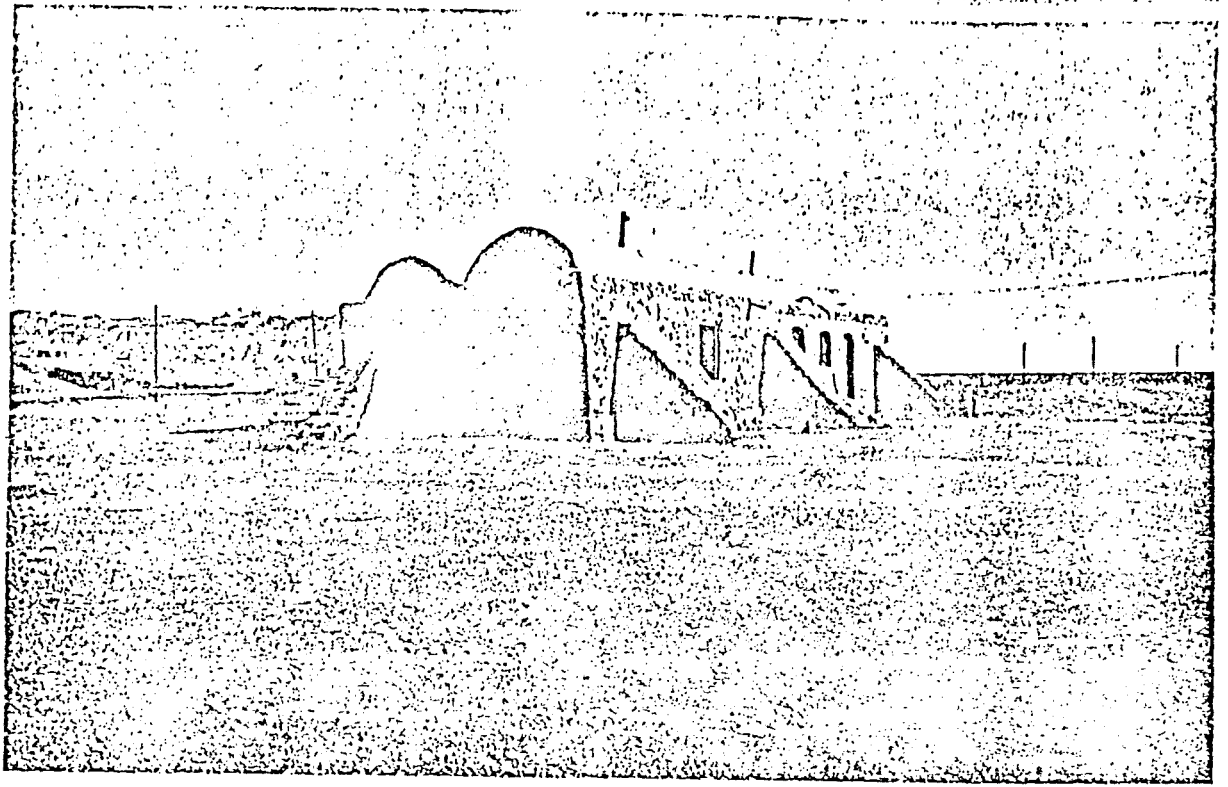
Stone and mud construction.  
Stress concentration in end rooms  
caused collapse.

Scale 1:200



Damaged



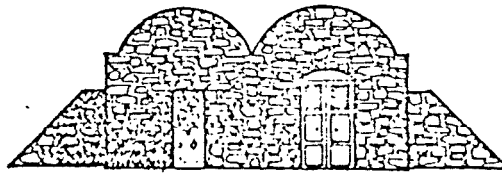
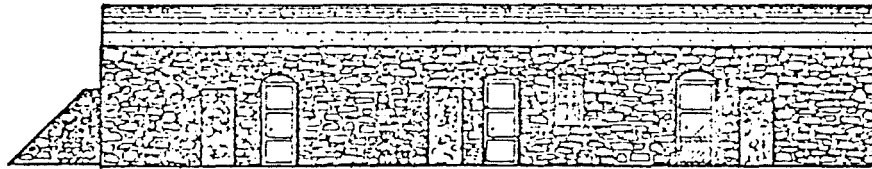
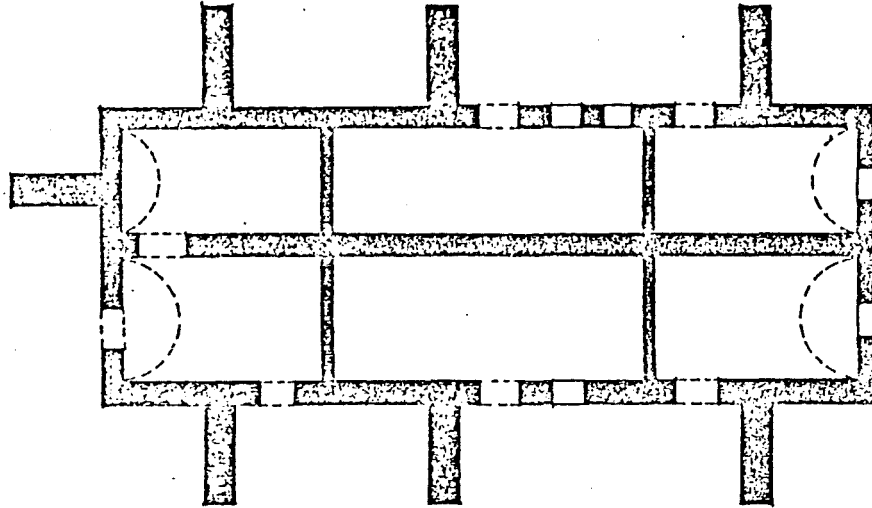


Workshop building south of Sar Bagh.  
(See accompanying drawing).

House south of Sar Bagh:

Rounded corners tend to disperse  
load which would otherwise be  
concentrated and cause damage.





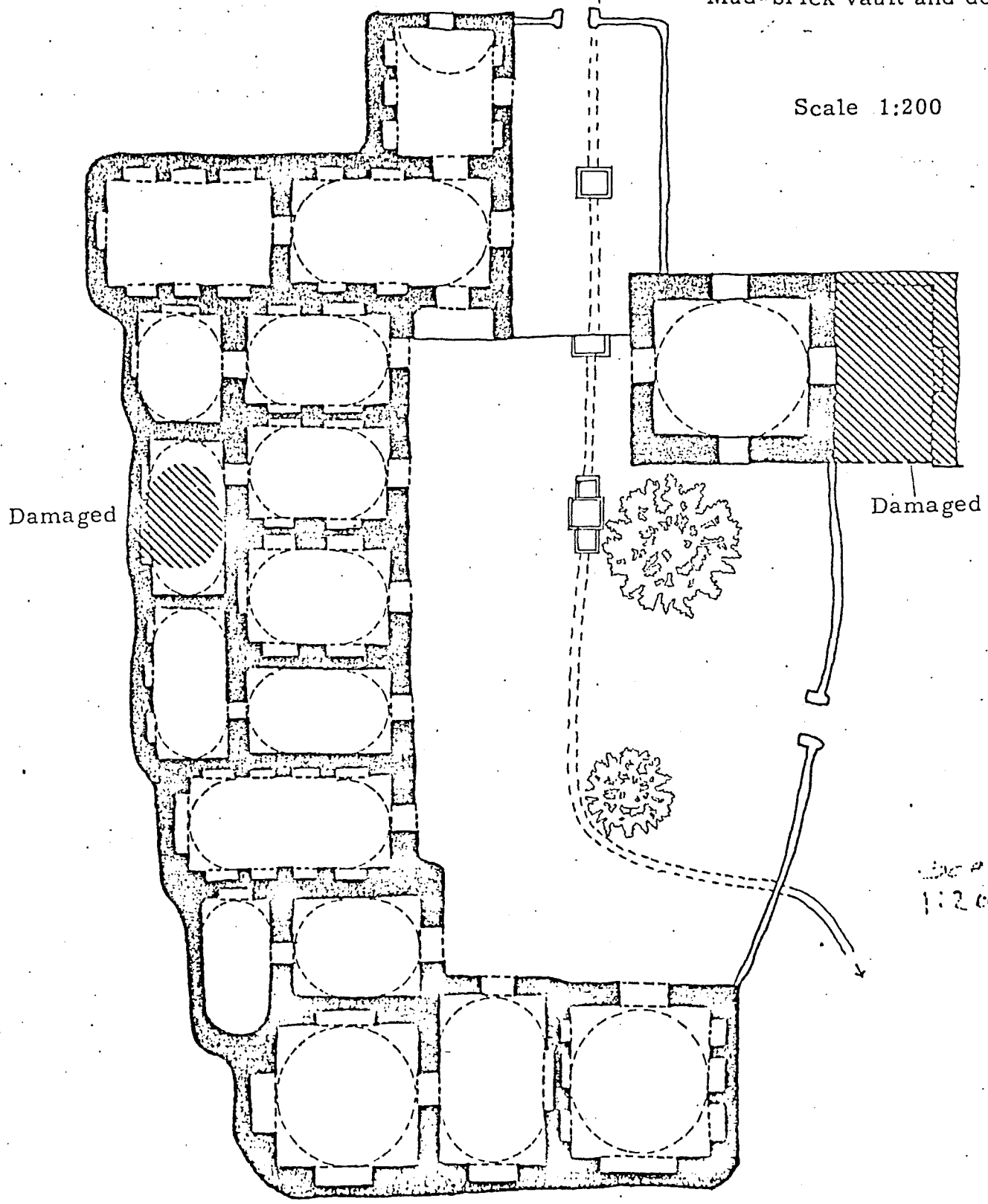
Scale 1:200

### WORKSHOP BUILDING SOUTH OF SAR BAGH

Stone walls in lime mortar and fired brick vaults. External buttresses assisted building to withstand major earthquake damage.

HOUSE SOUTH OF SAR BAGH  
Stone walls  
Mud-brick vault and dome roofs.

Scale 1:200



Scale  
1:200

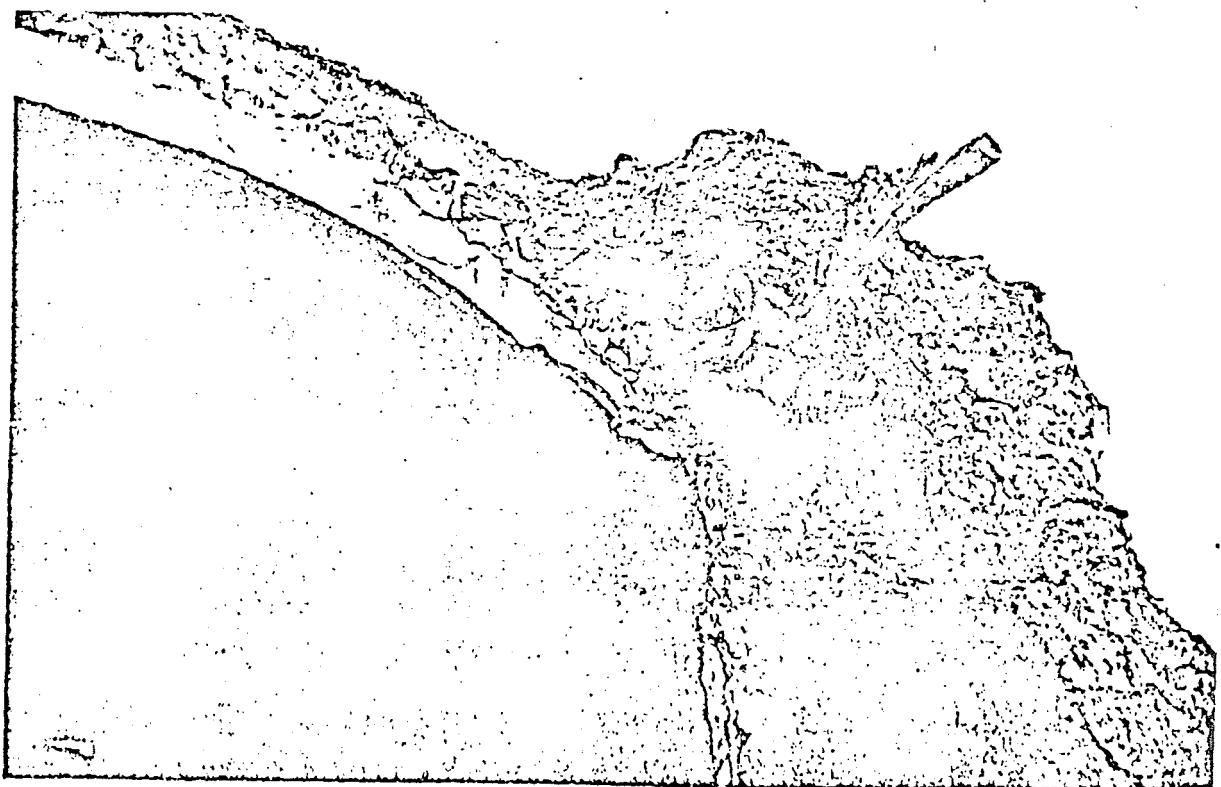


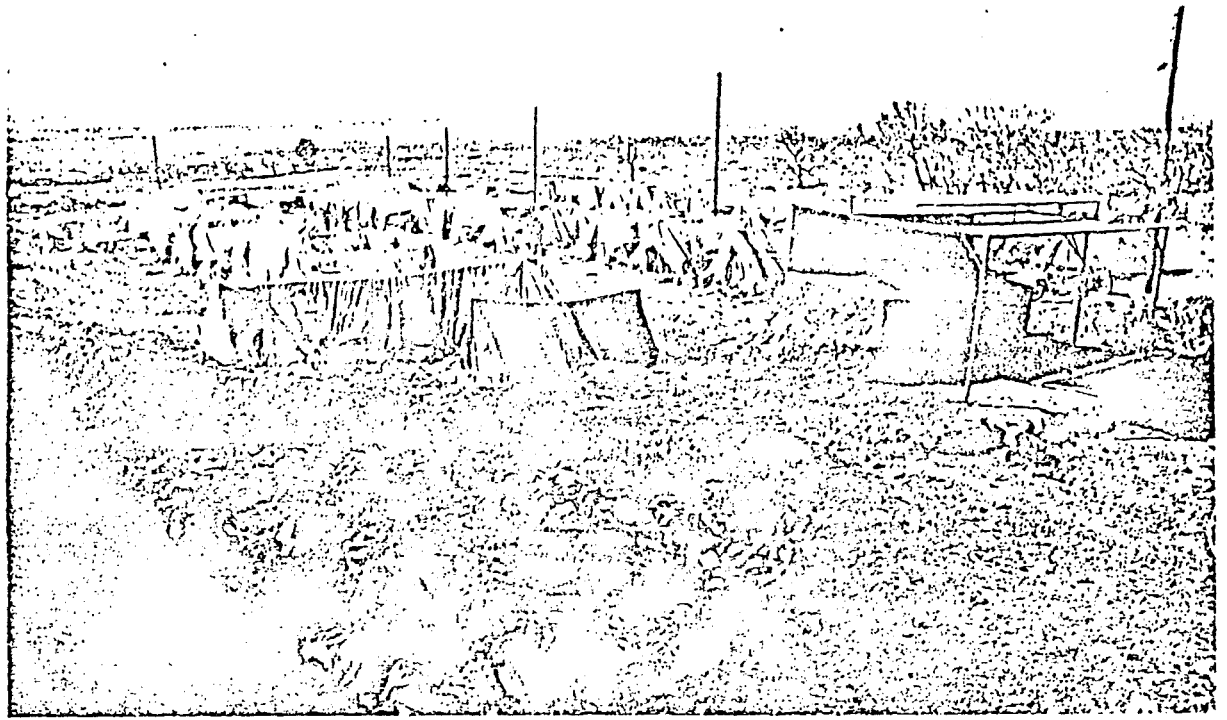
Gisk Village:

Metal tie rods anchored into reinforced horizontal beam at top of wall have prevented vault collapse. Horizontal timber beam set in cement mortar.

Gisk:

Detail showing timber wall reinforcing set in cement mortar.





Sar Bagh:

Government provided emergency shelter for homeless.

Zarand:

Government provided emergency shelter for public services .



#### ۴- نتیجه گیری

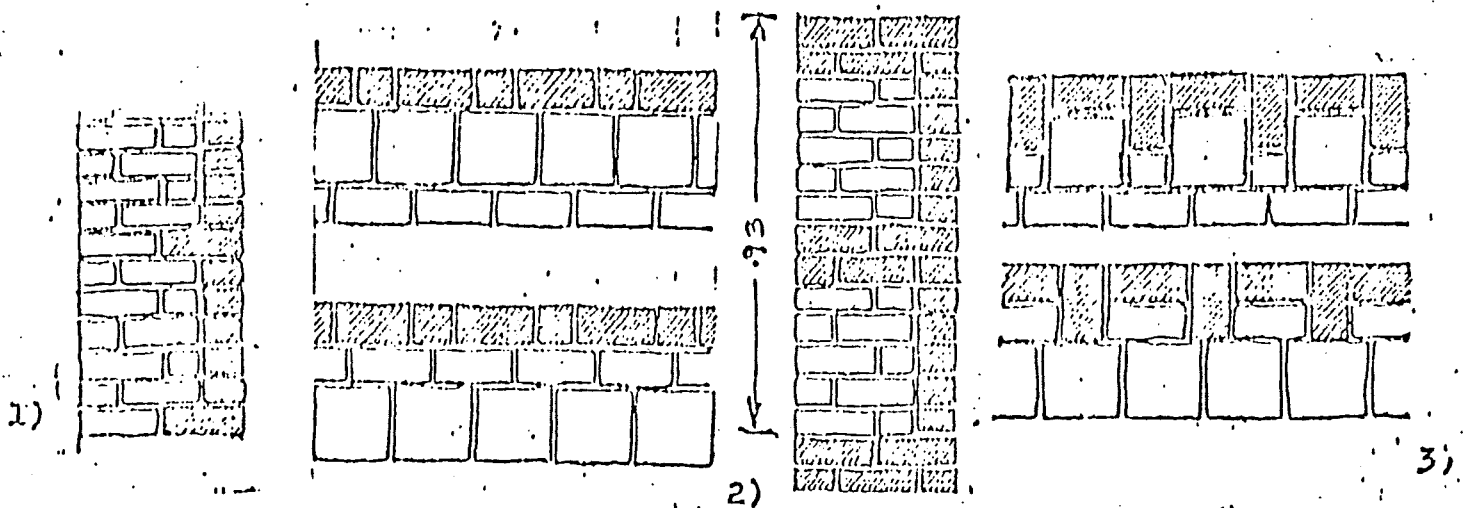
بطور خلاصه، ضعفهای عمده زیر در تکنیکهای ساختمانی که اغلب به آسانی قابل اجتناب است و می تواند مقاومت بنا را در مقابل زلزله افزایش دهد مشخص شد.

- ۱- فونداسیون ضعیف یا فقدان آن.
  - ۲- قفل و بند ضعیف در گوشه ها و عمق و عرض دیوار.
  - ۳- نگهداری اندک از دیوارهای خشتی.
  - ۴- پرکردن بعدی روزنه ها بدون مقید ساختن آنها به دیوار.
  - ۵- استفاده از ملاط گل در دیوارهای سنگی.
  - ۶- لانه های موریانه یا رطوبت که باعث تضعیف تیرهای چوبی می شود.
  - ۷- تیرهای بالای در و تیرهای سقف که به اندازه کافی در دیوار فرو نرفته اند.
  - ۸- روزنه های در و پنجره که نزدیک گوشه ها واقع شده اند.
- این فهرست و پیشنهاداتی که برای بهبود وضع در بخش آخر گزارش آمده است به هیچ وجه کامل نیست. اما به هر حال برای نشان دادن اینکه در اغلب موارد لزومی به استفاده از تکنیکهای بسیار پیچیده و گران ساختمانی وجود ندارد کافی است.
- مطالعه کامل و ایجاد روشهای بومی منجر به ایجاد راه حلهایی مقاوم در مقابل زلزله خواهد شد که هم از نظر اجتماعی و هم از نظر اقتصادی برای مردم قابل قبول خواهد بود. کارگاههای ساختمانی محلی به عنوان ابزاری برای توسعه این راه حلها و ارائه آنها به اجتماع مورد نظر، عمل خواهند کرد.

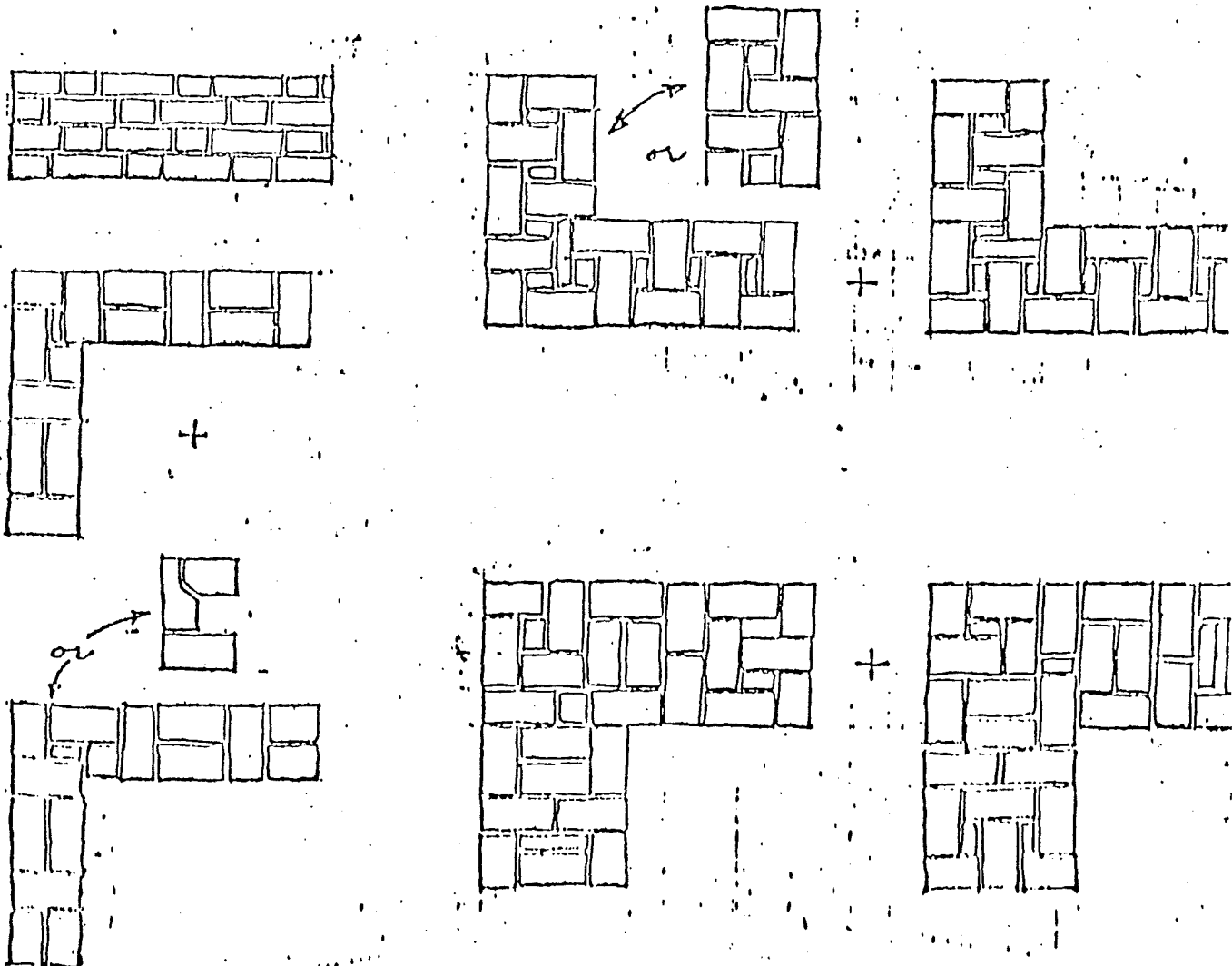
### پیوستن مصالح نامشابه

در بسیاری از نواحی ایران رسم بر این است که از آجرهای در کوره پخته شده به عنوان پوشش خارجی دیوارهای خشتی استفاده شود تا این دیوارها در مقابل آسیبهای ناشی از آب و تغییرات آب و هوا محفوظ بمانند.

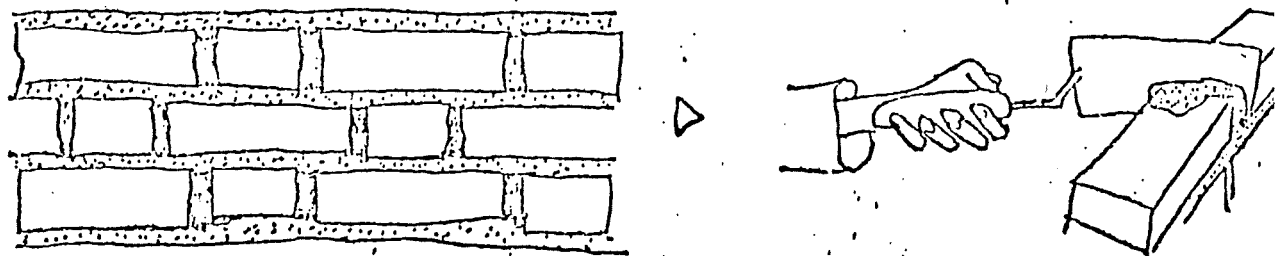
دیوارهای خشتی که پوشش آجری دارند معمولاً "مناسب نواحی زلزله خیز نیستند زیرا به هنگام بروز لرزش، این پوشش به خارج پرتاب شده به عابرین خیابان آسیب می‌رساند. از آنجا که این کار به مقیاس وسیعی انجام میشود باید یک سیستم قفل و بندسازی بهتر بوجود آید. با استفاده از سیستمهای مختلف قفل و بندهای آجری و خشتی دیوارهایی ساخته شد. پی هر دیوار خالی شد و ریزش آن به منظور تشخیص نشانه‌های ضعیف قفل و بندها مورد مطالعه قرار گرفت. نمونه‌های دوم و سوم (شکل ۲ و ۳) بصورت واحد بدون آنکه حتی یک خشت از آن جدا شود فرو ریخته‌اند و به این ترتیب از سایر نمونه‌ها بهتر بودند.



از آنجاکه گوشه های بنا منطقی هستند که فشار اصلی بر آنها وارد می آید این عمل باید متوقف گردد .  
 ردیفهای آجر باید بطور پیوسته چیده شود و ساختمان دیوار بطور یکنواخت پیشرفت  
 کند . قفل و بند های مناسب - قفل و بند های پیشنهادی برای دیوارهای آجری با ابعاد مختلف ،

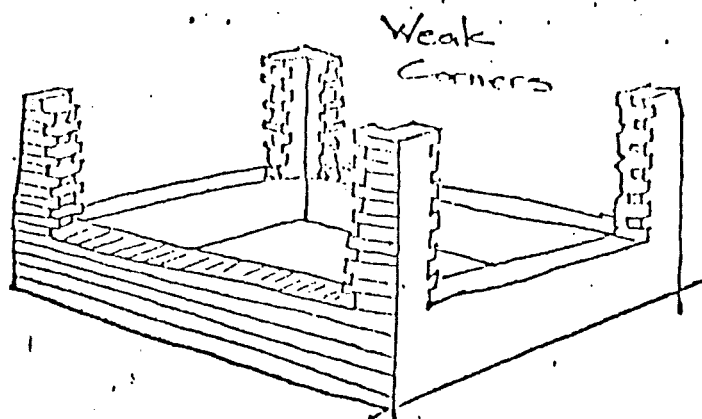


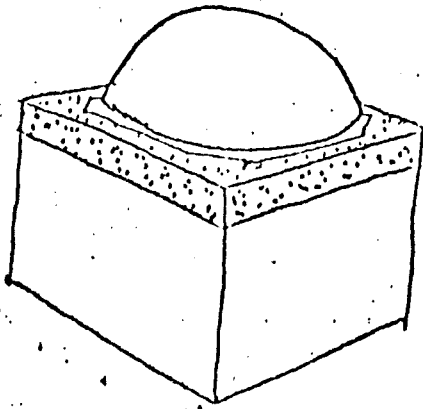
آماده کردن آجرها ، آجرها را باید قبل از چیدن ، در آب خیس کرد . این کار تا حدود زیادی چسبندگی میان آجر و ملاط کمک میکند .



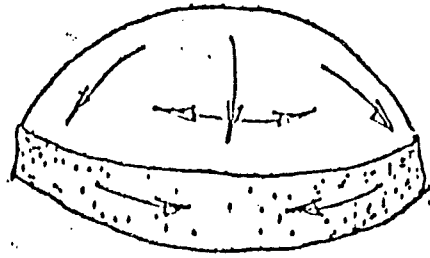
ملاط بند آجر ، عادت بر این است که ملاط را فقط در بندهای افقی مورد استفاده قرار دهند و به این ترتیب در مصرف آن صرفه جویی کنند . با پر کردن بندهای عمودی بطور کامل ، استحکام بنا ۲۵-۲۰ درصد افزایش می یابد .

قید گوشه ها ، در ایران چنین معمول است که قبل از بالا بردن دیوار گوشه های آن را سازند . این کار برای ساده کردن مشکل تراز بودن دیوار انجام میشود اما باعث تضعیف گوشه های بنا و ایجاد قفل و بندهای مناسب می گردد .





تیر آهن مدور تقویت سقفهای گنبدی.

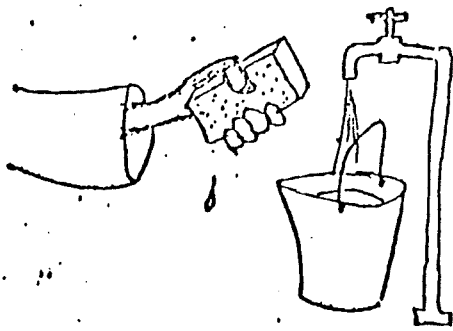


( تیر آهن پیوسته دیوارها را به یکدیگر می پیوندد .

حلقه مهار )

### ۳-۴-۳ دیوارهای آجری و قفل بندهای آن

از مطالعه‌ای که در منطقه‌ی زلزله بندرعباس انجام شد آشکاراست که قفل و بندهای ضعیف دلیل عمده‌ی ریزش دیوارها به شمار می‌رفت. ملات بهتر و تکنیکهای ساختمانی بهتر میتواند تا حد بسیار زیادی این مشکل را مرتفع کند. مخلوط ملات. ملات میتواند حالت چسبندگی مناسبی میان سنگ یا آجر ایجاد کند اما نباید قوی تر از خود واحد سنگ یا آجر باشد.



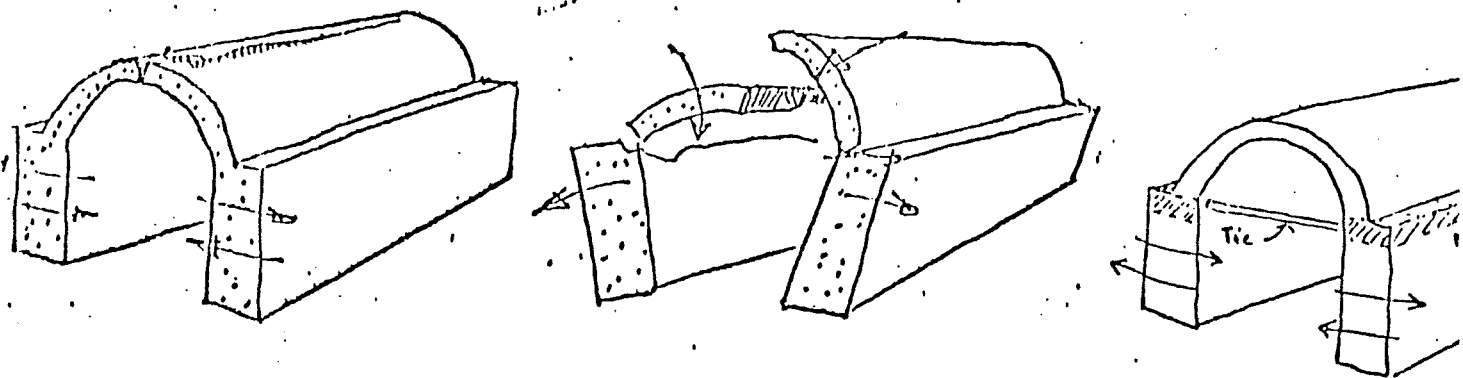
مخلوط ملات.

۱ قسمت سیمان ، ۳ قسمت ماسه  
یا ۱ قسمت سیمان ، ۳ قسمت آهک ، ۹ قسمت ماسه

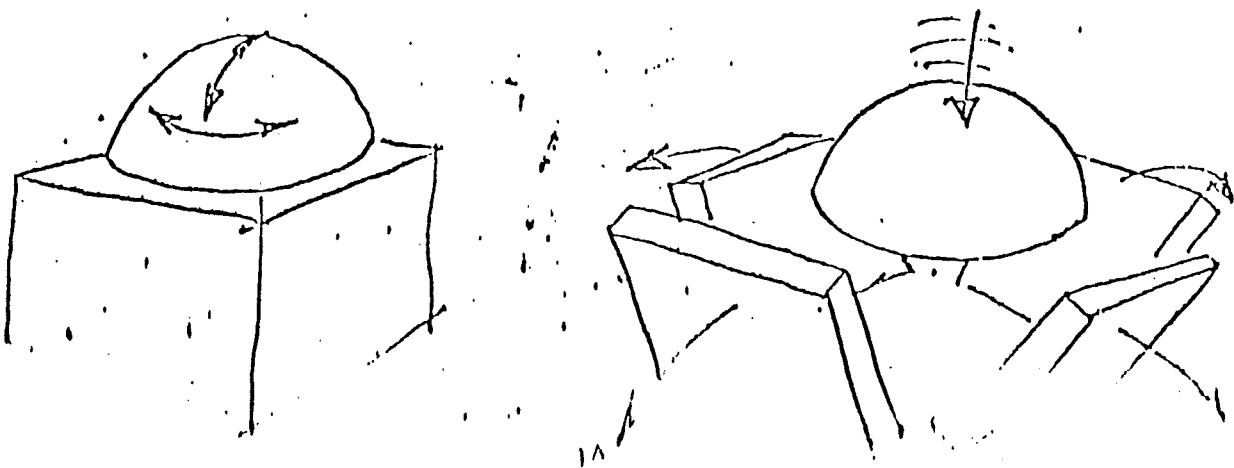
این تیرآهنهای مدور در به هم چسباندن دیوارها به منظور جلوگیری از حرکتی که باعث ریزش سقف می شود، کارکرد دوگانه ای دارد.

### ۳-۴-۲. طاق و گنبد

طاقها بیش از گنبدها نسبت به آسیبهای حاصل از زلزله حساسیت دارند. هر حرکت دیوارهایی که طاق بر روی آن قرار دارد، باعث ایجاد شکاف در طاق و ریزش آن خواهد شد. یک قفل و بند آهنی که دوسوی دیوار رابه یکدیگر ببیوندد و باید در زیر سقف دارای یک تیرآهن پیوسته مدور باشد، در مقابل زلزله مقاومت خواهد کرد.

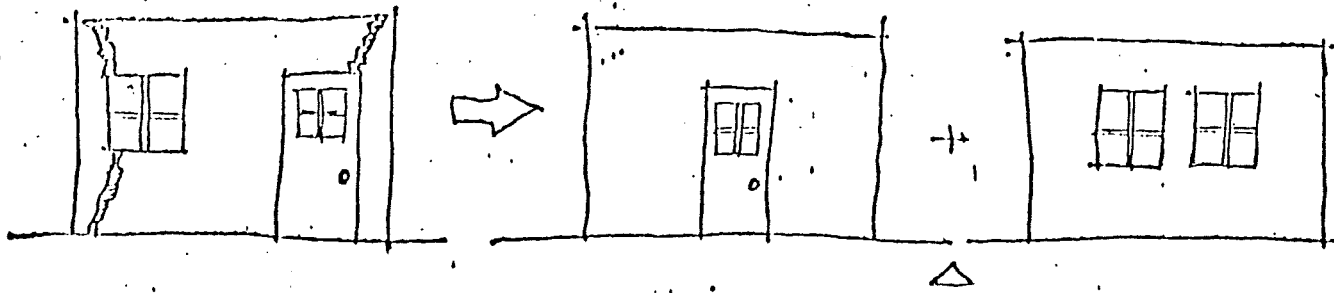


گنبد برخلاف طاق دارای دوپوشش است و می تواند آسانتر در مقابل فشارها و حرکتهای مقاومت کند. در بسیاری از موارد که دیوارها به علت زلزله فروریخته اند سقفهای گنبدی برپا ایستاده اند.



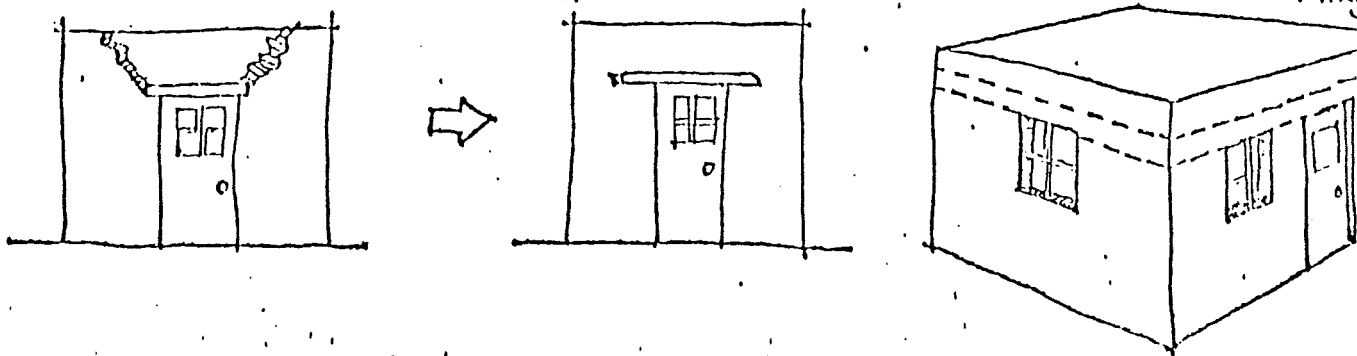
۱-۴-۳ طرح ریزی و تعیین محل روزنه ها

به علت تمرکز فشار، روزنه ها نباید نزدیک گوشه های ساختمان باشند.



بنابراین بهتر است روزنه ها را در مرکز دیوار قرارداد.

شکاف و ریزش اغلب در بالای روزنه های در و پنجره حادث میشود. میتوان این قسمتها را با امتداد دادن تیر سردر، در دیوارها و یا با استفاده از تیر آهنهای مدور یک تکه به عنوان تیر سردر که تا گوشه های ساختمان امتداد می یابند تقویت کرد.



### ۵-۳-۳ دیوارها

گل، خشت، آجر، ترکیب سنگ و خشت و آجر.

هزینه ها و ویژگیهای ساختمانی، فیزیکی و آب و هوایی هر یک از این انواع دیوار مقایسه شد. بنایان بهترین روشهای به هم فشردن گل، ساختن خشت، آجر، انواع ملاط، قطر لازم دیوار، روشهای آجرچینی و غیره را آموختند.

### ۶-۳-۳ سقفهای تیرچوبی

نمونه های سقف تیرچوبی در ایران و سایر کشورها، نمونه های جدید دیگر از سقف تیرچوبی و خرپاهای چوبی.

هر یک از این نمونه ها از طریق ساختن و تجربه کردن ارزشیابی شدند.

### ۷-۳-۳ سقفهای طاق و گنبدی

قابل کاربردترین نمونه های طاق و گنبد انتخاب شده بنایان چگونگی ساختن این نمونه ها تفاوت قطر دیوار در رابطه با پهنای طاق، ساختن قوس، نسبت پهنای طاق به قوس، طاق و گنبد، ویژگیهای ساختمانی، فیزیکی و آب و هوایی طاق و گنبد را آموختند.

### ۸-۳-۳ بنا سازی در نواحی زلزله خیز

آنچه در زیر می آید روشنگریها و اشاراتی است که از بعضی بحثها و آزمایشهایی که در مورد ساختمانهای مقاوم در مقابل زلزله در کارگاه انجام شد، به دست آمده است. ملاحظات مربوط به زلزله در هر یک از مراحل ساختمان یعنی فونداسیونها، دیوار، سقف و غیره مورد بحث قرار گرفت و در بحثهای خاص کارگاه نیز به این مسئله پرداخته شد.

### ۴-۳ یادداشتهای کارگاه در مورد بهبود مقاومت ساختمانهای بومی در مقابل زلزله

در نقطه اوج زلزله حرکت معمولاً "به صورت عمودی است و به ساختمانهای سنگین کمتر آسیب

می زند

این بحثها مشکلات مربوط به خانه سازی در روستا و نیز جزئیات خانه سازی مشخص شد و مهارتهای مربوط به نقشه کشی توسعه یافت .

هریک از جنبه های بناسازی ، از نمونه های مختلف خاک و فونداسیونها گرفته تا سقف و دیوار ، بنوبت مورد بحث قرار گرفت . در هر یک از این موارد شرکت کنندگان تجربیات خود را ارائه کردند و در مورد راه حل های مطلوب توافق شد . هر یک از این راه حلها در زمینه ای که برای آزمایش در نظر گرفته شده بود آزموده شد . در عین حال تجربیاتی در مورد مصالح محلی از قبیل تیرچوبی ، سنگ و خشت انجام گرفت . خاک ، با استفاده از تکنیکهای نمونه برداری که یک بنای محلی می توانست فرا گیرد مورد آزمایش واقع شد . مواد تثبیت کننده برای خشت ، و عایق برای بهبود مقاومت دیوارهای خاکی در مقابل باد و باران برای نمونه خاکهای محلی ساخته شد .

به هنگام عصر کلاسهای سوادآموزی برای بنایان که اغلب بی سواد بودند تشکیل میشد . کارگاه اهمیت سواد ابتدایی را با ارتباط دادن آن با کار بنایان به ایمنان نشان داد . با مرتبط ساختن مستقیم یک برنامه سوادآموزی به مشکلات نقشه خوانی و نگهداری موارد ثبت شده مربوط به بنا ، بنایان علاقه فراوانی به باسواد شدن پیدا کردند .

### ۳-۳ موضوعات مطرح شده

۳-۳-۲ مشکلات و قدرتهای بالقوه ساختمان محلی و توسعه عمومی روستا .

— مشکلات توسعه نیافتگی روستایی .

— قدرتهای بالقوه موجود برای صنعتی کردن روستا در مقیاس کوچک با استفاده از منابع محلی .

— سربناههای روستایی و مشکلات سکونت روستا .

— نقش بنای روستا به عنوان یکی از اعضای گادرتوسعه .

### ۳-۳-۲ اصول اصلی طرح ریزی

تعیین موقعیت ساختمان در زمین و تعیین جهت آن .

— رابطه فضای فضاها و عناصر درون بنا .

### ۳-۳-۲ نقشه خوانی و نمایش بناها

### ۳-۳-۲ فونداسیونها

برای شرایط متفاوت خاک و زمین زیر بنا .  
ملرومات متفاوت بنا .

انجام شود. برنامه های کوتاه مدت کارآموزی درکارگاه برای بنایان محلی پس از وقوع زلزله می تواند آنها را قادر سازد تا به هنگام بازسازی منطقه از تکنیکهای ساختمانی بهبود یافته استفاده کند. آنچه در زیرمی آید مطالعه موردی یک کارگاه کارآموزی بنایان است که بناسازی درنواحی زلزله خیز رابه عنوان یکی از مشکلات متعدد ساختمانی مورد نظر قراردادده است.

روش کارگاه رابه آسانی میتوان برای عطف توجه ویژه تر به ساختن بناهای مقاوم درمقابل زلزله انطباق داد.

کارگاه توسعه همراه باطرح توسعه سلسله، دربهارسال ۱۹۷۷ کارگاهی برای بالابردن مهارتهای بنایان محلی تاسیس کرد. این کارگاه دربیزد درقسمت جنوبی مرکز ایران، کسه دارای تکنیکهای ساختمانی بومی پیشرفتهای است ایجاد گردید. بنایانی از روستاهای لرستان دراین برنامه دوماهه شرکت جستند و تجربیاتی درمورد بهبود مصالح و تکنولوژیهای ساختمانی محلی خودپرداختند. این تجربه درمیان شرکت کنندگان درکارگاه که شامل بنایان، معماران و سرمعماران روستایی از سایر مناطق ایران بودند تسهیم شد. برای مشکلات سکونت درروستا راه حلهایی ازطریق بحث به دست آمد و آنگاه درخود روستا به آزمون گذارده شد.

### ۱-۳ هدفها

توسعه مهارتهای عملی و سازمانی بنایان روستایی به نحوی که بتوانند بدون وابستگی به مقاطعه کاران، مهندسين، و مصالح ساختمانی شهری نیازهای مربوط به سرپناههای مقاوم درمقابل زلزله را برآورد. این امر همچنین بدین معناست که سرمایهی گذاری شده درساختمانهای روستایی در نواحی روستایی باقی میمانند.

### ۲-۳ روش

روش کارگاه عبارت بود از یادگیری ازطریق بحث، ازطریق عمل و ازطریق آزمون. مثلا " بحث درمورد روشهای ساختمانی و طرحریزی و اصول نقشه کشی به این طریق انجام شد که از هر شرکت کننده خواسته شد نقشه خانهی خود را بکشد و مزایا و نقائص آنرا یادآور شود. براساس

این امر ناشی از انحنای دوگانه گنبد است که فشار را در تمام جهات تقسیم می‌کند. طاقهایی که توسط میله‌های تقویت کننده بسته شده و انتهای این میله‌ها به اندازه کافی در دیوار جای گرفته بودند ساخت بسیار ایمنتری داشتند. در یک سری از طاقهایی که در کنار یکدیگر ساخته شده بودند طاق آخرین به علت آنکه بطور مناسب بسته نشده بود، فرو ریخته و طاقهای دیگر کمتر صدمه دیده بودند. در طاقهای درونی فشارهایی که جهت مخالف دارند یکدیگر را متعادل می‌سازند در حالیکه فشارهای هم جهت در طاقهای آخرین تمرکز می‌یابند و باعث ریزش آنها می‌شوند به این ترتیب اگر طاقهای آخرین تقویت شوند مقاومت کل سری طاقها افزایش خواهد یافت.

### ۲-۳-۲ ساختمانهای آجر و فولاد

این نوع ساختمانها به تعداد اندک در سه روستای نامبرده وجود داشتند اما در زرنند مانند اغلب شهرهای ایران ساختمانهایی با اسکلت فولاد و طاق آجری کاملاً معمول است. بطور کلی این شکل از ساختمان در صورتیکه ساخت آن اسکلت بندی شده و بخوبی به یکدیگر متصل شده باشد می‌تواند در مقابل زلزله مقاومت کند. در مواردی که فولاد به صورت اسکلت بکار نرفته بود (و ما به کرات به آن برخوردیم) تمام یا جزئی از ساختمان فروریخته بود.

بطور کلی بناها استاندارد ساختمانی ضعیفی داشتند. برای پیشگیریهای ویژه‌ای که می‌بایست در نواحی زلزله خیز به عمل آید، تکنیکهای صحیح و سراسری بناسازی و نگهداری از ساختمان به منظور تضمین ایمنی آن به هنگام بروز زلزله لازم است. در روستاهایی که مورد بازدید قرار گرفت ایجاد قفل و بند، تقویت کننده‌های افقی و عمودی و نگهداری منظم به خصوص در مورد ساختمانهای عمومی مراعات نشده بود.

### ۳-۳-۳ کارگاه کارآموزی بنایان (یک مطالعه موردی)

بنای روستایی محلی که سنتاً اغلب ساختمانهای روستا چه عمومی و چه خصوصی را می‌سازد، یک کانال مناسب برای ارائه تکنیکهای بهبود یافته ساختمانی و راه‌حلهایی برای مشکلات سرپناه روستایی به شمار می‌رود. تحقیق برای ایجاد ساختمانهای مناسبتر در مناطق زلزله خیز باید همراه با این افراد

بودند که در مراقبت از آنها غفلت شده بود. نگهداری منظم و سراسری ساختمانهای خشتی و به خصوص حفاظت از آن در مقابل آسیبهای ناشی از آب برای تقویت استحکام آنها اساسی است. به هر حال ساختمانهای خشتی بیش از بناهای سنگی معمولی در مقابل ریزش مقاومت نشان داده بودند و حتی اگر آسیب سختی هم دیده بودند کاملاً "ریزش نکرده و در نتیجه کمتر باعث مرگ ساکنین خود شده بودند. مردم محل گفتند که فاصله‌ی زمانی میان لرزشها و ریزش بنا، در بناهای خشتی بیش از بناهای سنگی بوده است و به این ترتیب ساکنین بناهای خشتی موفق به فرار شده‌اند. این امر احتمالاً ناشی از چسبندگی و همگنی بیشتر خشت و ملاط است.

### ۲-۲-۲ ساختمان سقف

طاقهای قلوه سنگی - این تکنیک غیر معمول طاق زنی، متشکل است از برجستگیهای باریک کمانی شکلی که از گچ ساخته شده و با چوبهایی نازک تقویت شده است. این برجستگی ها در فواصل تقریباً "یک متری یکدیگر قرار گرفته‌اند و بین آنها را قلوه سنگهایی که در ملاط گچ جای دارند پر کرده‌اند. این سیستم ساخت، سقف بسیار سنگینی بوجود می‌آورد که در مناطق زلزله خیز مطلوب نیست. سنگها رافقط ملاط نگه می‌دارد و فقدان قفل و بند بین آنها به هنگام وقوع زلزله باعث ریزش آنها می‌گردد. بنا بر این ساخت طاق فقط منکی به قدرت گچ است. لبه‌ی بارک باریکه‌های کمانی شکل به سنگها نجسبیده است و بنا بر این همانگونه که اغلب مشاهده شد طاقهای گنبدی در محل اتصال این برجستگیهای کمانی با سنگها، که پرنشده بود، ریزش کرده‌اند.

طاق و گنبد خشتی - سقفهای خشتی مانند دیوارهای خشتی بهتر از طاقهای سنگی عمل کرده‌اند. خصلت همگنی طاقهای خشتی که با ملاط گل ساخته می‌شود این امکان را بوجود می‌آورد که اینگونه طاقها مانند یک ساخت صدف شکل عمل کرده به هنگام وقوع زلزله بهتر از ساختمانهای سنگی یکپارچگی خود را حفظ کنند. عامل دیگری که در این زمینه مهم است وزن سبک ترطاق می‌باشد که دارای مقاومت کمتر در مقابل حرکت می‌باشد و بنا بر این در صورت بروز لرزش ثبات بیشتری دارد. واحد های خشت که به حد قابل ملاحظه‌ای سبکتر از سنگ هستند در صورت ریزش طاق آسیب کمتری به ساکنین واحد مسکونی می‌رسانند.

مشاهده شده که گنبدهای خشتی بهتر از طاق در مقابل زلزله مقاومت کرده‌اند.

زلزله می باشد . دیوار اکثر ساختمانها باقلوه سنگ ساخته شده بود و سقف طاق و گنبد داشتند . درروستای درتنگل قسمت قدیمی روستا راساختمانهای خشتی تشکیل داده بود و ساختمانهایی که باقلوه سنگ ساخته شده بود درحول وحوش این قسمت قرار داشت . درمعدودی ازساختمانهای این سه روستا آراجر وتیرآهن استفاده شده بود . طاق وگنبدها عمدتا " ازقلوه سنگ ساخته شده بودند ، اما بعضی آراجر و بعضی هم از خشت بودند .

#### ۱-۲-۲ . ساختمان دیوارها

#### دیوارهای سنگ چین ( قلوه سنگ )

اغلب دیوارهای سنگی بااستفاده ازملاط کل ساخته می شدند که عمدتا " هیچ قفل و بنبند چسبناکی بین سنگها ایجاد نمی کرد وبنابراین درصورت وقوع زلزله نمی توانست ازریزش دیوارجلوگیری کند .

به علاوه دیوارهای سنگی بدون هیچگونه قفل و بندی ساخته شده بود ، بدین معنی کنگه سنگهای گرد کوچک که روی یکدیگر قرار داده شده بودند دوسوی دیوار را تشکیل می دادند وکل و خساک فاصله بین دوسوی دیوار را پر می کرد . در بسیاری ازموارد لایه بیرونی دیوار به آسانی کنده شده بود در جاهای دیگر دوسوی دیوار جدا شده وریخته بود . اگر دیوارها حامل طاق باشند چنین وضعی باعث ریزش سقف خواهد شد .

نمونه های معدودی از دیوارهای سنگی مشاهده شد که در آنها سنگها به طریقی قرار داده شده باشند که دوسوی دیوار را به یکدیگر متصل کنند . درچائیکه سنگها بطور مناسبی همراه با قفل و بند قرار داده شده بود و ملاط خوبی نیز به کار رفته بود ساختمان آسبب کمتری را متحمل شده بود . دیوارهای خشتی - ریزش این دیوارها به واسطه فقدان قفل و بند درعرض دیوار تسهیل می شود . دیوارها با دوردیف داخلی و خارجی آجر ساخته شده بودند و این دوردیف را فقط ملاطی که بین آنها ریخته بودند نگه می داشت . این دوردیف به هنگام لرزش ریزش می کردند ، به نحوی که هیچیک از آنها به اندازه کافی ضخیم یا قوی نبود که بتواند استوار بایستد یا بار خود را نگه دارد و در نتیجه منجر به ریزش می شد .

همچنین مشاهده شد که اکثر ساختمانهای خشتی که آسبب فراوان دیده بودند ساختمانهایی

فشار بیش از حد وارد نمی‌آید. پوشش برگ خرما که روی تیرهای چوبی قرار داده می‌شد نیز مفید بود زیرا به علت وسعت برگ و انعطاف پذیری آن می‌توانست اندکی از لرزش بکاهد.

#### ۲-۱-۷. مصالح جدید

طی دیدار خود تنها به یک ساختمان که مدرسه بود برخوردیم که از مصالح و تکنیکهای—ی استفاده کرده بود که در محل قابل دسترسی نیست. دیوارها از بلوکهای سیمانی ساخته شده بود و سقف دارای تیر آهن هایی بود که بین آنها باطاق آجری زده بودند. زیرسقف یک ورقه تورسیمی قرار داشت و روی آن اندود شده بود. تمام این دیوارها ترک خورده بود و یکی از دیوارها که وزن سقف را تحمل می‌کرد فروریخته و سقف ریزش کرده بود.

تیرهای آهن به یکدیگر جوش داده نشده بودند و تمام ساختمان به علت چهارچوب بندی ضعیف و در بعضی از قسمتها به علت فقدان آن آسیب دیده بود. با حرکت تیرهای آهن، طاقهای آجری نیز فروریخته بود.

بطور کلی استاندارد بنا بسیار پایین و توانایی تکنیکی آن بسیار اندک بود. اگر مصالح به دقت و بطور مناسب به کار گرفته می‌شد بسیاری از آسیب ها قابل اجتناب بود.

#### ۲-۲ زلزله زرنند

در ساعت ۳ و ۴۰ دقیقه روز ۳۰ آذر ۲۵۳۶ زلزله ای به قدرت  $6/2$  درجه ی ریشتر سه روستار با خاک یکسان کرد و به هفتاد روستای دیگر در منطقه زرنند کرمان آسیبهایی وارد ساخت. طبق گزارش جمعیت شیروخورشید سرخ بیش از پانصد نفر در این حادثه جان خود را از دست دادند. اعضای کارگاه توسعه در تاریخ ۱۰ بهمن همان سال از این منطقه دیدن کردند تا چگونگی آسیب وارده به —ه ساختمانهای محلی را بررسی کنند. روستاهای سرباغ، در تنگل و گیسک که بین ۶ تا ۱۰ کیلومتری شمال شرقی زرنند واقع شده اند بیش از سایر روستاها از زلزله آسیب دیده بودند. در سایر روستاها و نیز در شهر زرنند ساختمانها فروریخته بودند اما میزان آسیب دیدگی آنها نسبتاً کم بود. تقریباً تمام ساختمانهای سه روستای فوق الذکر بطور جزئی یا کلاً " فروریخته بودند و ساختمانهای بسیار محدودی قابل سکونت مجدد بود.

به نظر مامیزان زیاد این آسیبها ناشی از تکنیکهای ضعیف ساختمانی و نه به سبب شدت

#### ۲-۱-۴. گوشه ها

هم درد دیوارهای سنگی و هم درد دیوارهای گلی گوشه ها ضعیف ترین نقاط به شمار می‌رفتند و حتی جائیکه تمامی ساختمان فرونریخته بود گوشه های آن ترکهای سخت برداشته یاریزش کرده بودند. این امر ناشی ازضعفی است که حاصل دوجهت متفاوت دیوارها در رابطه با حرکت زمین است و باعث می‌شود حرکات زمین در دیوارها بایکدیگر برخورد پیداکنند. در اینجا نیز فقدان قفل و بند کامل این تاثیر ویران کننده را افزایش داده بودند.

#### ۲-۱-۵. روزنه ها

تقریباً " تمام روزنه ها دارای تیر سردر چوبی بودند. از آنجاکه در اغلب موارد زائده های این تیر مقدار اندکی در دیوار فرورفته بودند، چهارچوب پنجره بیرون آمده و قسمتهای بالای آن فرو ریخته بود. حتی در مواردی که زائده ها به اندازه کافی در دیوار فرورفته بودند در هر دو طرف روزنه ترکهای عمیقی ایجاد شده بود. وضعیت روزنه نیز اهمیت داشت. در جاهائیکه روزنه در نزدیکی گوشه ها قرار داشت ترکیب تاثیر گوشه و روزنه باعث شده بود که ترکهای بزرگتری ایجاد شده و دیوار در اغلب موارد ریزش کند.

#### ۲-۱-۶. سقف

واضح است که ریزش دیوارهایی که سقف رانگه میدارند ریزش سقف را در پی دارد. به هر حال دریافتیم که دیوارهایی که وزن سقف را تحمل می‌کنند بیش از دیوارهایی که تنها وزن خود را تحمل می‌نمایند فرو ریخته اند. جاهائیکه تیرهای سقف به اندازه کافی از روی دیوار نگذشته بود حرکت دیوار به طرف خارج باعث شده بود که تیرها از روی دیوار سربخورند و به هنگام ریزش سقف دیوارها را به طرف خارج برانند. به این ترتیب خودسقف می‌تواند در صورتیکه محل اتصالش با دیوار، ساختمان درستی نداشته باشد احتمال ریزش دیوار را افزایش دهد. چنین وضعی در مورد ساختمانهای تیرآهنی نیز دیده شد.

سقفهای باتیر چوبی که از تعداد زیادی تیر ( با قطر تقریبی ۱۰ سانتیمتر) ساخته شده بودند بیشتر از سقفهایی که با تعداد کمتری تیرهای بزرگتر بنا شده بود بر جای مانده بودند. فشار بارهای که بر دیوار نوع اول وارد می‌آید به شکل موزون تری در طول دیوار تقسیم می‌شود به نحوی که بر هیچ نقطه ای

بهبود یافته به مناطق زلزله خیز پیشنهاد می نماید. به علاوه یک برنامه ایجاد کارگاههای کارآموزی کوتاه مدت در نواحی روستایی، به عنوان یکی از روشهای بالا بردن سطح تکنیکهای بومی ساختمان پیشنهاد شده است. بنیاد روستایی در این کارگاهها مشارکت دارند و برای روشن شدن مطلب یک مطالعه موردی راجع به این موضوع انجام شده است.

## ۲- مطالعه نواحی زلزله خیز

### ۲-۱- بندرعباس

ناحیهی بندرعباس در فروردین ۲۵۳۴ چند روز پس از زلزله شدید اصلی، مورد بازدید اعضای کارگاه توسعه قرار گرفت. ناحیهی سیاه هو که تقریباً "در سمت کیلومتری شمال شرقی بندرعباس قرار دارد یکی از دونهایی بود که زلزله بیشترین آسیب را به آنها رسانده بود. از روستاهای خورگر، سرخواه و گیشان دیدار شد. در هیچیک از این روستاها ساختمانی نبود که از زلزله آسیب ندیده باشد. درصد بسیار زیادی از ساختمانها دچار خرابیهای جزئی باکلی شده بودند. در میان تمام ساختمانهایی که در این منطقه از آنها دیدار شد هیچ نمونه ای از آسیب زلزله در امان نمانده بود گرچه بعضی عناصر و تکنیکها در مقابل ویرانی از خود مقاومت بیشتری نشان داده بودند. در این منطقه سه نمونه ای اصلی ساختمان محلی مورد استفاده است. سرباهای ساخته شده از برگ و ساقه خرما (کبر)، دیوارهای خشتی با سقف متشکل از تیرچوبی و گل، دیوارهای سنگی با سقف متشکل از تیرچوبی و گل. به علاوه چند ساختمان با استفاده از تکنیکها و مصالح وارد شده از خارج از ناحیه ساخته شده اند.

### ۲-۱-۱- کپس

سرباهایی که با چهارچوب چوبی - معمولاً "تنه درخت خرما- و با استفاده از برگ و ساقه خرما برای پوشاندن سقف و پهلوها ساخته می شوند، به عنوان خانه های تابستانی و همچنین مامن حیوانات مورد استفاده قرار می گیرند. این سرباهای به علت ساختمان چهارچوب دار و پوشش سنگ وزن اطرافشان، از آسیب زلزله مصون ماندند و پس از آن به عنوان حفاظهای اضطراری مورد استفاده قرار گرفتند. نمونه هایی وجود داشت که در آن، بخشی از دیواری که سقف را نگه می داشت فروریخته بود و این بخش فروریخته قسمتی از حفاظ را تشکیل میداد که توسط دیوارگی یا سنگی، که خود

این گزارش به بحث در مورد روشهای بومی معماری روستایی در نواحی زلزله خیز می پردازد و روشی برای بهبود کیفی ساختمان روستایی به منظور مقاومت بیشتر در مقابل زلزله پیشنهاد می کند که خود مردم و مصالح و تکنولوژیهای که در اختیار آنان است ، در برمی گیرد . این گزارش در بر تو مطالعاتی آماده شد که زلزله ی سال ۲۵۳۶ بندرعباس و زلزله ی سال ۲۵۳۷ زرنده به عمل آمد .

رویکرد مرسوم به بناسازی در رابطه با زلزله ، معمولا " دو ویژگی دارد . ایجاد بناهای مقاوم در مقابل زلزله در موسسه های فنی و ارائه آن به منطقه مورد نظر که معمولا " از طریق برنامه ی نوسازی پس از وقوع زلزله صورت می پذیرد .

مردم منطقه ، درگیر توسعه و اجرای این ساختها نیستند و این ساختها گرچه ممکن است نیازهای مربوط به مقاومت در مقابل زلزله را برآورند اما اغلب سایر نیازها را نادیده میگیرند . این رویکرد مرسوم در موارد متعدد یعنی هنگامیکه مردم منازل تازه ساز را ترک گفته و خانه های قدیمی خود را تعمیر کرده به آن نقل مکان کرده اند شکست خورده است .

در نواحی ای که زلزله خرابی ببار می آورد ، مثلا " منطقه ی سیاه هو در شمال بندرعباس ، در عین حال که می توان مقدار معینی از کارهای مربوط به بازسازی را با کمک حکومت و با استفاده از خدمات پیمانکاران و مصالح وارد شده به محل انجام داد ، بسیاری از کارهای نوسازی و مطمئنا " بسیاری از ساختمان سازی های آتی توسط خود مردم محل انجام می گیرد .

در یک ناحیه کوهستانی دوردست ، وجود جاده های محدود یا اصولا " فقدان جاده و به علاوه فقر محلی ، واردات مصالح و تجهیزات ساختمانی به مقیاس وسیع را در دراز مدت غیر عملی می کند . می توان از طریق ایجاد روشهای ساختمانی درون زا ، به راه حلهایی دست یافت که از نظر اقتصادی ، اجتماعی و محیطی مناسب منطقه باشند و در حیطه ی کنترل مردم محل باقی بمانند .

بهبودهایی ساده در روشهای محلی ساختمان سازی ، در نواحی سیاه هو و زرنده می توانست مانع وقوع بسیاری از زیانهای جانی و مالی شود که مردم این نواحی از آنها آسیب دیدند .

این گزارش از دو بخش عمده تشکیل می شود . بخش اول تاثیر زلزله را بر نمونه های بومی ساختمانهای دونا حیه مورد مطالعه تعیین می کند و بخش دوم ، روشی برای ارائه ی تکنیکهای ساختمانی

فهرست

۱-ه مقدمه

۲-ه مطالعه نواحی زلزله خیز

۲-۱- زلزله بندرعباس

۲-۲- زلزله زرنجد

۳-ه کارگاه کارآموزی بنایان

۴-ه نتیجه گیری

کتابشناسی

تصاویر

مرکز مطالعات توسعه درون زا

---

سندکار

استراتژی برای بهبود بناهای بومساز  
در مناطق زلزله خیز

مطالعات موردی زلزله سال ۲۵۳۶ بندرعباس و زلزله سال ۲۵۳۲ زرنجد

توسط کارگاه توسعه

فرخ افشار، آلن کین، محمدرضا دارائی، جان نورتن